

**CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS (HG, CR, CD, NI) EN SEDIMENTOS
DE LA CIÉNAGA MALLORQUÍN, BARRANQUILLA - COLOMBIA**



DAIRO ALFONSO BOLÍVAR BANDERA

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC

DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BARRANQUILLA, COLOMBIA

2020

**CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS (HG, CR, CD, NI) EN SEDIMENTOS
DE LA CIÉNAGA MALLORQUÍN, BARRANQUILLA – COLOMBIA.**

DAIRO ALFONSO BOLÍVAR BANDERA

**TRABAJO PRESENTADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

ASESOR:

ROGÉRIO PORTANTIOLO MANZOLLI

CO-ASESOR:

LUANA CARLA PORTZ

**CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC
DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BARRANQUILLA, COLOMBIA**

2020

[illegible]

Barranquilla, / /2020

Dedicatoria y Agradecimientos

El apoyo incondicional fue una constante por parte de todos los involucrados en el proyecto, por tal motivo debo mostrar mi gratitud a los profesores Rogério Portantiolo Manzolli y Luana Carla Portz, al Instituto de Geociencias de la Universidad Federal del Rio Grande del Sur (Brasil), a Carlos Francisco F. de Andrade, Diego Andrés Villate Daza, a nuestra amada Universidad de la Costa, a la Escuela Naval de Suboficiales A.R.C de Barranquilla y la amistad que hallamos en profesores y estudiantes, cuyo valor aportó sentido a la búsqueda del bienestar social.

Resumen

En Colombia, las causas principales de contaminación de las lagunas son originadas por la industrial, la minería, la agricultura y la falta de saneamiento básico. Los ambientes acuáticos son los más afectados, resultando en pérdida de biodiversidad. Unos de los ecosistemas más vulnerables de la región caribe es el humedal la ciénaga de Mallorquín en el departamento del Atlántico, debido a la contaminación por metales pesados. En este estudio se determinó la concentración de cuatro metales pesados (Cr, Ni, Cd y Hg) en 16 muestra de los sedimentos de la ciénaga de Mallorquín. Las muestras (Cr; Ni; Cd) fueron analizadas por espectrometría de absorción atómica de horno de grafito (GFAAS). Para el Hg se utilizó un analizador de mercurio LUMEX®. Se encontraron concentraciones que sobre pasan los limites admisibles internacionalmente, especialmente para el Cr, Ni y Hg, en la muestra M4 (96.704; 45.474; 0.199 $\mu\text{g.g}^{-1}$), M5 (100.378; 44.453; 0.153 $\mu\text{g.g}^{-1}$), M6 (97.737; 47.605; 0.14 $\mu\text{g.g}^{-1}$) Y M9 (104.918; 47.324; 0.143 $\mu\text{g.g}^{-1}$). Por último, se evidencio que la materia orgánica y el tamaño del grano son un factor de distribución de metales pesados en los sedimentos de la ciénaga de Mallorquín.

Palabras clave: Humedal, Prueba de Penetración Estándar - SPT, contaminantes, barra arenosa

Esta tesis es parte del artículo:

Luana Portz, Rogério Portantiolo Manzolli, Carlos Francisco F. de Andrade, Diego Andrés Villate Daza, Dairo Alfonso Bolívar Bandera and Javier Alcantara-Carrió

Assessment of Heavy Metals Pollution (Hg, Cr, Cd, Ni) in the Sediments of Mallorquin Lagoon - Barranquilla, Colombia.

J. of Coastal Research, 95(sp1):158-162 (2020). <https://doi.org/10.2112/SI95-031.1>

Abstract

In Colombia, the main causes of lagoon contamination are caused by companies such as the industrial, mining, agriculture sector, and lack of basic sanitation. Aquatic environments are the most affected, resulting in biodiversity loss. One of the most vulnerable ecosystems in the Caribbean region is the Mallorquín lagoon located in the Atlantic department, due to heavy metal contamination. In this research, the levels of four heavy metals (Hg; Cr; Cd; Ni) present in 17 sediment samples of the Mallorquín lagoon –Barranquilla (N Colombia) were investigated. The samples (Cr; Ni; Cd) were analyzed by graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS). For Hg, a LUMEX® mercury analyzer was used. Concentrations that exceed the internationally admissible limits, especially for Cr, Ni and Hg, were found in the sample M4 (96,704; 45,474; 0.199 $\mu\text{g.g}^{-1}$), M5 (100,378; 44,453; 0.153 $\mu\text{g.g}^{-1}$), M6 (97,737; 47,605; 0.14 $\mu\text{g.g}^{-1}$) and M9 (104,918; 47.32; 0.143 $\mu\text{g.g}^{-1}$). Finally, it was evidenced that organic matter and grain size is a factor of distribution of heavy metals in the sediments of the Mallorquín lagoon.

Keywords: Wetland, Standard Penetration Test - SPT, contaminants, sandy bar

This thesis is part of the article:

Luana Portz, Rogério Portantiolo Manzolli, Carlos Francisco F. de Andrade, Diego Andrés Villate Daza, Dairo Alfonso Bolívar Bandera and Javier Alcantara-Carrió

Assessment of Heavy Metals Pollution (Hg, Cr, Cd, Ni) in the Sediments of Mallorquin Lagoon - Barranquilla, Colombia.

J. of Coastal Research, 95 (sp1):158-162 (2020). <https://doi.org/10.2112/SI95-031.1>

Contenido

Lista de tablas y figuras	9
Introducción	11
Capítulo I.	14
Planteamiento del problema.....	14
Descripción del problema.....	14
justificación	15
Objetivos	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	18
Capítulo II.	18
Marco referencial	18
Estado del arte	18
Antecedentes Internacionales	18
Antecedentes nacionales.....	21
Antecedentes locales.....	23
Marco teórico Conceptual.	25
Capítulo III.....	34
Metodología	34
Paradigma de la investigación.....	34
Enfoque de la investigación	35
Tipo de investigación	35

Diseño o alcance de la investigación.....	36
Área de estudio.....	37
Muestra.....	39
Capítulo IV.....	42
Análisis e interpretación de los resultados.....	42
Análisis de granulometría.....	42
Análisis metales pesados	42
Procesamientos de los mapas temáticos.....	43
Resultados	43
Distribución de la granulometría	43
Concentraciones de metales pesados en sedimento.....	45
Capítulo V.....	52
Discusiones y conclusiones.....	52
Discusiones.....	52
Conclusiones	55
Recomendaciones	57
Anexos	68

Lista de tablas y figuras**Tablas**

Tabla 1 Resumen de antecedentes internacionales	18
Tabla 2 Resumen de antecedentes nacionales	21
Tabla 3. Resumen de antecedentes locales.	23
Tabla 4. Sitios RAMSAR en Colombia.....	26
Tabla 5. Coordenadas de los puntos de muestreo	41
Tabla 6. Contenido de la materia orgánica, porcentaje de la arcilla limosa.	44
Tabla 7. Concentraciones de elementos químicos, contenido de materia orgánica y porcentaje de limo- arcilla en el sedimento.	46

Figuras

Figura 1. Resumen de la metodología de la investigación.....	34
Figura 2. Zona de estudio.....	38
Figura 3. Muestras de la zona de estudio.	40
Figura 4. Penetración estándar.	40
Figura 5. Selección de la muestra	41
Figura 6. Tamaño medio grano (um) de sedimentos superficiales de la laguna Mallorquín. Interpolación por método IDW (Interpolación Ponderada de Distancia Inversa) utilizando ArcMap® 10.6.	45
Figura 7. Concentraciones de Ni - Cr en el sedimento de la Ciénaga de Mallorquín.....	47
Figura 8. Concentraciones de Cd - Hg en el sedimento de la Ciénaga de Mallorquín ...	48
Figura 9. Muestras SPT 2 y Muestras SPT 3	49
Figura 10. Contenido de Níquel y Cromo en SPT2 y SPT3	50
Figura 11. Contenido de Cadmio y Mercurio en SPT2 y SPT3.....	50

Figura 12. Distribución espacial de metales pesados en sedimentos de la laguna Mallorquín (valores en $\mu\text{g.g}^{-1}$).	51
--	----

Lista de Anexos

Anexos 1. Recolección de muestras de sedimento.	68
Anexos 2. Actividad de Georreferenciación	68
Anexos 3. Punto de SPT 2	68
Anexos 4. Zona Manglar de la Barra arenosa.....	69
Anexos 5. Punto SPT 3	69
Anexos 6. Embalaje de muestras	69
Anexos 7. Asentamientos urbanos en la rivera de la ciénaga	70
Anexos 8 Talas de mangles.....	71
Anexos 9. Desembocadura del Arroyo León	72

Introducción

La ciénaga Mallorquín, es un sistema lagunar costero importante para el desarrollo biológico de muchas especies endémicas. Además, se encuentran concentraciones de aves playeras y especies migratorias que llegan a la costa del departamento del Atlántico (Ruiz et al. 2008). Este tipo de ecosistema costero también cumple una importante labor, ya que su sistema costa-río es el filtro depurador de aire más importante para la ciudad de Barranquilla y parte de su área metropolitana ya que su espacio costero vegetado por manglares es un descontaminante valioso ya que posee la capacidad de absorber algunos contaminantes atmosféricos transportados por los vientos como el CO₂. (López & Sierra, 2005).

Uno de los principales problemas que afecta la ciénaga Mallorquín es la contaminación de metales pesados ya que estos contaminantes llegan por los diferentes vertimientos de aguas residuales contaminadas que desembocan directamente a este sistema lagunar costero, afectando principalmente todo su sistema biótico (Fuentes, Piñedo, & Marruego, 2018).

Los metales pesados no solo encuentran concentrados en agua de la ciénaga sino también en todo lo que la compone como complejo lagunar costero, por tal motivo es de gran importancia determinar y cuantificar las concentraciones de metales pesados en la barra arenosa en la ciénaga Mallorquín y en el sedimento de la ciénaga, ya que la contaminación de este ecosistema afecta directamente a la población pesquera y a su sistema biótico, generando un impacto ambiental y socio económico.

La constitución política de Colombia, en los artículos 79 y 80, establece que:

“Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental para garantizar el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y

planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución; debiendo prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”.

En lo que corresponde a esta investigación, el objetivo es, cuantificar la concentración y distribución de metales pesados existentes en los sedimentos de la ciénaga Mallorquín, y para alcanzarlo, se construyó el presente proyecto de investigación, dividido en 5 capítulos, en los cuales se desarrollan punto por punto el proceso para la identificación de la problemática que afecta a la ciénaga.

Como punto de partida, en el capítulo 1 denominado *planteamiento del problema*, se dan a conocer las situaciones imperantes que hacen que surja la problemática presente en el proyecto, asimismo, se formuló la pregunta problema de la investigación; además, de describir y manifestar los riesgos que ocasionan los altos niveles de metales pesados en cualquier cuerpo de agua, ecosistema y por ende en la salud de los seres humanos; por último, se encuentran los objetivos de la investigación.

En el capítulo 2 titulado *marco referencial*, se encuentra el estado del arte, donde se exponen mediante trabajos de investigación y artículos locales, nacionales e internacionales, el estado en el que se encuentra la problemática planteada por la presente investigación; además, en el marco legal, toma protagonismo las leyes que rigen el uso, pertinencia y relevancia de las investigaciones que permiten la identificación de metales pesados en los ecosistemas y principalmente en cuerpos de agua en el contexto colombiano, y esta información se ve reforzada con los teóricos que nutren el desarrollo de la investigación y el diseño de la misma.

El capítulo 3, denominado *metodología* está enfocado en mostrar los aspectos metodológicos utilizados para el desarrollo de la investigación, se empieza por identificar el paradigma que rige el proyecto, el enfoque que toma según su recorrido junto con el objetivo que se quiere alcanzar, además, se muestra la etapa de diseño, el tipo de investigación y las fases del desarrollo de la misma, complementándose con una descripción de la muestra seleccionada y las técnicas e instrumentos utilizadas desde el inicio del proyecto para la recolección de la información y datos pertinentes.

Consecuentemente, en el capítulo 4 denominado *análisis e interpretación de los resultados*, se muestra mediante un riguroso proceso de análisis, la manera como está reflejada la problemática planteada, en la ciénaga de Mallorquín. esos datos recogidos abarcan las evidencias puntuales de la presencia de los metales en ciertas zonas específicas de la ciénaga, además muestran las afectaciones y los factores que causan dicha contaminación.

Finalmente, en el quinto capítulo llamado *discusiones y conclusiones*, se presenta una comparación entre los datos de los niveles adecuados de metales de debe tener cualquier ecosistema y los resultados de las muestras seleccionadas de la ciénaga, además se concluye presentando la evidencia del análisis riguroso hecho en la propuesta y las recomendaciones para evitar la constante contaminación del cuerpo de agua.

Capítulo I.

Planteamiento del problema

Descripción del problema

La ciénaga de Mallorquín se encuentra ubicada en el lado izquierdo del río Magdalena y es considerada como una laguna costera. El ecosistema lagunero hace parte de los 2.250 km² de la llanura aluvial inundable de este río (Galvis et al., 1992). Ésta, presentaba un comportamiento natural estuarino hasta la construcción del tajamar en el río Magdalena en el año 1925, que fue realizada para estabilizar su desembocadura y mejorar la navegabilidad del río hacia el puerto de Barranquilla, con una modificación en el encauzamiento del río, éstas modificaciones dieron como resultado, un cambio en la desembocadura y en las condiciones hidráulicas, dando lugar a una interrupción parcial del transporte litoral de sedimentos (Restrepo et al., 2015), que en este sector tiene como resultante el sentido este a oeste, además, se creó un caño submarino justo al frente de su desembocadura, y como consecuencia de esto, se da la pérdida del sedimento que proporcionaba estabilidad a la ciénaga de Mallorquín. (Idárraga-García, et al 2019).

Estas alteraciones afectaron la ciénaga a través de los años, dañando la evolución de su estructura morfológica, transformando este sistema estuarino deltaico en una laguna costera parcialmente cerrada separada del mar por una barra arenosa (Pino, 2005).

Durante la evolución morfológica de la ciénaga Mallorquín que se ha visto reflejada desde el año 1973 hasta el año 2005, se puede apreciar su deterioro, donde el principal causante de esta afectación ha sido el relleno del cuerpo de agua, ya que sobre su orilla especialmente en su costado sur oeste, está siendo rellena por invasores ilegales, ocupaciones indebidas y crecimiento portuario; además, en la actualidad la ciénaga de Mallorquín está siendo afectada por productos contaminantes que traen las aguas lluvias a

través de los arroyos, esto quiere decir que los aportes de lixiviados son un hecho, ocasionando daños en la salud que se manifiestan con intoxicaciones generalizadas y potenciales efectos teratogénicos, por la ingesta continuada de metales pesados. Como este es un proceso acumulativo su manifestación puede ocurrir pasados varios años (Cataño, 2006).

En ese sentido, es evidente que uno de los problemas que afecta a la ciénaga Mallorquín en la actualidad es la contaminación de sus aguas, principalmente por metales pesados y alto contenido de materia orgánica, debido al crecimiento industrial y población de la ciudad de Barranquilla con su área metropolitana, donde muchos de sus vertimientos van al río Magdalena, y éste, los lleva al mar y por ende a la ciénaga, además de los caños y arroyos que desembocan directamente en la misma (Pino, 2006).

Es así que el presente proyecto de investigación, tiene como propósito conocer y cuantificar las concentraciones de metales pesados y materia orgánica en los sedimentos de la ciénaga de Mallorquín, implementado estudio geotécnico, físicos químicos y sistemáticos que ayuden a cuantificar los niveles materiales contaminante en la barra arenosa de la ciénaga, lo que da como resultado, el planteamiento del siguiente interrogante: ¿Cómo varían las concentraciones de metales pesado entre los sedimentos de la ciénaga y de la barra arenosa en este sistema lagunar costero?.

justificación

En la actualidad, los humedales siguen disminuyendo a escala mundial, tanto en extensión como en calidad, lo que trae consigo la disminución de las funciones del ecosistema y de los servicios que estos proporcionan a la sociedad. Se calcula que la extensión mundial de los humedales disminuyó entre un 64% y un 71 % en el siglo XX y que la pérdida y degradación de los humedales continúan en todo el mundo. Debido a esto los

responsables de proteger los humedales tienen que tomar las medidas necesarias para conservarlos (UNESCO, 1971).

El escenario actual y los pronósticos, indican que el deterioro del humedal de Mallorquín y otros cuerpos de agua considerados como humedales, seguirá en aumento sino se revierten procesos de pérdida de la biodiversidad y la productividad, que hoy día son más que evidentes, como el crecimiento de los asentamientos subnormales en el borde urbano de la Ciénaga y con ello los problemas ambientales, el deterioro progresivo de la calidad de vida en los municipios y el desequilibrio hídrico actual en la cuenca, que resulta ser más profundo y preocupante que en cualquiera otra cuenca o región del departamento de Atlántico.

Los registros obtenidos del análisis multitemporal de los últimos 30 años indican un retroceso progresivo de la barra de arena que separa la Ciénaga del mar, a una tasa de retroceso, y por ende de constreñimiento hasta la desaparición del humedal -que determinara su colapso- si no se toman medidas para estabilizar la línea costera en este segmento del departamento (Cataño, 2006).

La única laguna costera que tiene la ciudad de Barranquilla es la ciénaga de Mallorquín, y ésta aunque pertenece al departamento del Atlántico, Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta, en ese sentido, es declarada sitio RAMSAR (La convención relativa a los humedales de importancia internacional) mediante decreto 3888 de octubre 8 del 2009 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial, 2009). Su importancia ecológica radica en que sirve como hábitat para refugio, alimentación y reproducción de muchas especies, garantizando así la supervivencia y crecimiento de larvas de moluscos, crustáceos, peces y otros organismos (RAMSAR, 2017).

Sin embargo, no escapa a la problemática ambiental a la que están sometidos los cuerpos de agua de las zonas costeras, en ella se refleja un deterioro ambiental ocasionado en

gran parte por la contaminación química vertida por las industrias de Barranquilla y por la acumulación progresiva de sedimentos provenientes del río Magdalena (León, 2010; INVEMAR, 2019; Mangones & León, 2014).

En este cuerpo de agua se ha registrado contaminación por metales en sedimentos (Portz, et al. 2020), agua (INVEMAR, 2019) y en las especies ícticas como *Mugil incilis* y *Eugerres plumieri* (Fuentes, Piñedo, & Marruego 2018). Sin embargo, aún existe escasa información sobre la bioacumulación de metales pesados en las demás especies ícticas presentes en la ciénaga, situación que merece una mayor atención debido a que es una gran fuente de recursos pesqueros. Estas especies pueden estar bioacumulando metales pesados y representando un riesgo de salud pública, una vez que se estima que aproximadamente cuatrocientos habitantes del corregimiento La Playa consumen y expenden estas especies (Fuentes, Piñedo, & Marruego, 2018).

Además, los sedimentos de las lagunas actúan contaminantes a lo largo del tiempo y están en flujo constante con la columna de agua. El análisis de metales pesados en sedimentos permite la detección de contaminantes que incluso pueden estar ausentes o en bajas concentraciones en la columna de agua y su distribución en los sedimentos proporciona un registro de la historia espacial y temporal de la contaminación en una región o ecosistema dado (Davies et al. al., 2006).

Objetivos

Objetivo general

Cuantificar la concentración de los metales pesados en los sedimentos de la ciénaga Mallorquín, Colombia.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión documental donde se evidencie los indicios de metales pesados en la Ciénaga de Mallorquín.
- Determinar las características sedimentarias de la ciénaga (fondo y barra arenosa).
- Calcular la distribución de concentraciones de metales pesados en los sedimentos.
- Identificar los impactos sociales, económicos y ambientales generados por la contaminación por metales pesados en el ecosistema de la ciénaga de Mallorquín.
- Socializar los resultados y conclusiones del proyecto de investigación.

Capítulo II.**Marco referencial****Estado del arte**

Para la construcción del estado del arte del presente proyecto de investigación, se toman estudios de calidad de ambiental, principalmente la contaminación por metales pesados en sedimentos, y son agrupados en tres secciones conformadas por los internacionales, los nacionales y los locales.

Antecedentes Internacionales

Tabla 1

Resumen de antecedentes internacionales

Título	Autores, año, país	Objetivo de la investigación
Provenance of late Quaternary sediments on the southwestern slope of the Ulleung Basin	Kwon, Sik, Jun, & Hwa 2017 Japón	Discriminar la procedencia de los sedimentos, basado en la geoquímica de los elementos de tierras raras durante el periodo cuaternario tardío.

Spatial and temporal distribution of heavy metals in coastal core sediments from the Red Sea	Al-Mur, Quicksall, & Al-Ansari (2017). Arabia Saudita	Identificar el proceso de absorción de las partículas de metales pesados en la sedimentación de zonas costeras.
Distribution and source analysis of heavy metals in soils and sediments of Yueqing Bay basin, East China Sea	Yang et al 2017. China	Identificar el tipo de contaminación presente en la sedimentación de las zonas costeras.

Fuente: Elaboración propia.

Los estudios en sedimento en zonas costera influyentes para el desarrollo de la investigación, presentan clasificaciones, tales como; los sedimentológicos, geofísicos, geológicos, paleontológicos y geoquímicos; como por ejemplo, el estudio realizado en la vertiente suroeste de la cuenca de Ulleung, al este del mar de Japón, el cual tuvo como objetivo discriminar la procedencia de los sedimentos, basado en la geoquímica de los elementos de tierras raras durante el periodo cuaternario tardío (Kwon, Sik, Jun, & Hwa, 2017). Este tipo de investigación, resulta ser de vital importancia porque permite comprender el comportamiento natural en los ambientes costeros tales como formación y evolución, manifestando que, debido a la industrialización, la minería, la sobrepoblación, el manejo inadecuado de los residuos y las descargas de aguas residuales en este ecosistema, ha aumentado la contaminación mundial causada por estas actividades antropogénicas.

En ese sentido, unas de las principales preocupaciones en el campo ambiental, es la contaminación resultante de los metales pesados en los sedimentos, dado que estos, en su ambiente natural por sus propiedades fisicoquímicas, son portadores primarios de metales pesados, debido a procesos naturales como; la meteorización, actividad biología, erosiones y las emisiones volcánicas (Sánchez & Sharon, 2016).

Además, en los ambientes marinos costeros las partículas de metales pesados, tienen las características de hacer el proceso de precipitación y adsorción aumentando la concentración, tal como se mostró en la investigación de Al-Mur, Quicksall, & Al-Ansari (2017) realizada en los sedimentos de las zonas costeras del Mar Rojo, en Jeddah Arabia Saudita, en donde también se analizaron muestras de Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb y como resultado encontraron altas concentraciones de Mn (0,80 mg kg⁻¹), Cu (7.96 mg kg⁻¹) y Pb (18.14 mg kg⁻¹) probablemente, debido a la descarga de aguas industriales, residuales, el uso de fertilizante en la zona y disposición final de los residuos.

Así mismo, la investigación de Yang et al. (2017) realizada en el mar del oriente de China, en el sector de la bahía de Yueqing, en el cual colectaron 40 muestra de sedimentos intermareal, 20 muestra de sedimentos de la corriente y 20 muestra de los sedimentos del lecho de la bahía en el cual analizaron metales pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Zn, Pb y Ni). De esa manera lograron determinar que los sedimentos de las corrientes en muchos sitios estaban altamente contaminados de acuerdo con los valores permisibles de referencias.

En los últimos años los organismos internacionales han estado colaborando con el fin de detectar y vigilar el impacto de los contaminantes de las zonas costeras en el ciclo de vida marina y de los servicios proporcionado por el ecosistema, por ejemplo, el programa ambiental del Mar Caspio, un programa intergubernamental de los cinco estados del litoral de dicho mar (Azerbaiyán, la Federación de Rusia, Kazajistán, la República Islámica de Irán y Turkmenistán), se han llevado a cabo estudios sobre la acumulación de contaminantes en el medio marino (OIEA, 2013).

Los Laboratorios del Organismo Internacional de Energía Atómica “OIEA” para el Medio Ambiente apoyan este programa mediante asesoramiento de expertos y apoyo técnico constante, con miras a establecer un programa regional de vigilancia de los contaminantes

marinos. Se emplean técnicas nucleares para investigar y evaluar el impacto en el ecosistema marino de los desechos tóxicos procedentes en su mayoría de actividades antropogénicas, en particular la minería, que ha incrementado la carga de metales pesados en los sedimentos del Mar Caspio (OIEA, 2013).

Indiscutiblemente, los humedales siguen disminuyendo a escala mundial, tanto en extensión como en calidad, a pesar de que ofrecieren múltiples beneficios colaterales de importante valor social y económico (RAMSAR, 2015). Estos tienen un rol preponderante en la preservación de la calidad ambiental debido a su alta capacidad de retención y la inactivación de sustancias nocivas (ten Brink et al, 2013). Sin embargo, los metales pesados, debido a su bioacumulación en los tejidos de los organismos acuático, pueden llegar afectar negativamente la salud del resto del ecosistema (Newton et al., 2014); un buen ejemplo, es el estudio realizado en Perú por (Jara-Peña, 2017) en las lagunas de Yanamate y Quiulacocha (región Pasco), Ticticocha y Yuracmayo (región Lima), donde analizaron acumulación de metales pesados en los tejidos de dos especies vegetal (*Calamagrostis rigida* y en *Myriophyllum quítense*), en el agua y en los sedimentos de las lagunas. En esta investigación se encontró alta concentración de cadmio, cobre, plomo y zinc en los tejidos vegetales, en el agua y en sedimentos; estos superaron ampliamente los estándares ambientales nacionales de calidad de agua.

Antecedentes nacionales

Tabla 2

Resumen de antecedentes nacionales

Título	Autores y año	Objetivo
Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal.	Londoño et al. 2016 Popayán	Identificar los riesgos y consecuencias de los metales pesados para el consumo humano y de los animales.

Impact of terrestrial mining and intensive agriculture in pollution of estuarine surface sediments: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá

Vallejo et al.
2016
Urabá

Analizar la concentración de metales pesados y su distribución espaciales, en los sedimento superficiales del fondo del golfo de Urabá

Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia

Doria Argumedo, C.,
& Deluque Vilorio
2015
Riohacha

Identificación de metales pesados y contaminantes en zonas costeras, sedimentación y agua del mar.

Fuente: Elaboración propia.

En Colombia se puede resaltar la reciente investigación realizada por Vallejo Toro et al. (2016a) donde se analizaron la concentración de metales pesados y su distribución espacial, en los sedimentos superficiales del fondo del golfo de Urabá. Con el fin de relacionar actividades mineras, agroindustriales que realiza en el río Atrato y en la zona costeras. En el resultado de dicha investigación se manifestó que el estuario según el factor de enriquecimiento de metal (EF), se encuentra extremadamente contaminado por plata y moderadamente por Zinc.

Por otro lado, en caribe colombiano, en la zona de playa de Riohacha, la Guajira, mediante un estudio realizado por (Doria Argumedo & Deluque Vilorio, 2015), se analizaron muestras de agua de mar; como resultado se obtuvo que la correlación significativa existente entre las concentraciones de los metales Fe, Mn, Zn, Co, con los nutrientes nitrato y fosfato, indicó posible acumulación de ellos en el sedimento e incluso bioacumulación en la fauna asociada a esta zona, principal mente ocasionada por interacción antrópica y actividad de minería.

Es evidente que la presencia en alto porcentaje de metales pesados ha ocasionado problemáticas ambientales en los ríos, a las lagunas, a los vegetales, animales y alimentos. Alteran la sostenibilidad de la cadena trófica, provocando riesgos potenciales en la naturaleza y en la sociedad, debido a que originan serios problemas en la salud humana y animal (Londoño Franco, Londoño Muñoz, & Muñoz Garcia, 2016). Por ejemplo, en Perú en la ciudad de Cajamarca, las localidades de Magdalena, el Centro Poblado Menor de San Sebastián de Choropampa y San Juan, fueron afectadas en una extensión de 50 kilómetros por derrame de 151 kilogramos de mercurio evaporizado, esto produjo una gran intoxicación en alrededor 1200 personas, contando niños y adultos.

Los daños ambientales fueron muy cuantiosos, contaminando ríos, causes, flora y fauna, originando la alteración de los ciclos naturales de la zona, la vegetación y los animales expuestos a esta sustancia sufrieron graves índices de intoxicación, en la mayoría de los casos no lograron soportarlo, sin contar que luego de ocho años la población sigue sufriendo las secuelas del desastre del mercurio (Arana-Zegarra, 2009).

Antecedentes locales

Tabla 3.

Resumen de antecedentes locales.

Título	Autores y año	Objetivo de la investigación
The mangrove ecosystem of the Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia): Observations on regeneration and trace metals in sediment	Perdomo et al. (1999). Santa Marta.	Restablecer las condiciones hidrológicas originales del sistema delta estuarino del río Magdalena y ciénaga Grande de Santa Marta
Human health impacts of exposure to metals through extreme consumption of fish from the Colombian Caribbean Sea	Fuentes Gandara et al., 2018. Barranquilla.	Evaluar las concentraciones de metales pesados en el tejido muscular y hepático de especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín en la ciudad de Barranquilla

Fuente: Elaboración propia.

Entre los primeros estudios realizado por metales pesados en el caribe colombiano se encuentra el de Perdomo et al. (1999). El cual tenía como objetivo restablecer las condiciones hidrológicas originales del sistema delta estuarino del río Magdalena y ciénaga Grande de Santa Marta, con la expectativa de que las condiciones estuarinas se restauraran y permitir la repoblación de manglares, así como un aumento de la productividad reestableciendo el agua entre el río Magdalena y el Ciénaga Grande mediante la construcción de canales. Ante de la apertura completa de los canales, realizaron análisis de metales pesados en los sedimentos del río Magdalena y su área de influencia, el cual indico concentraciones elevada de Cd, Cu, Ni y Zn, estaban por encima de los límites recomendados internacionales del Screening quick reference table for inorganics in sediment “SquiRTs” (Buchman, 2008).

En esa misma línea, en el año 2017, (Fuentes Gandara et al., 2018), evaluaron las concentraciones de metales pesados en el tejido muscular y hepático de especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín en la ciudad de Barranquilla, el cual mostró que las concentraciones más elevadas de zinc, plomo y níquel se registraron en el hígado de la especie *Mugil curema* (28.71 ± 14.1 , 0.31 ± 0.32 , 0.22 ± 0.07 $\mu\text{g/g}$, respectivamente), como también las de cromo (1.31 ± 0.68 $\mu\text{g/g}$) pero en el tejido muscular. Por último, se evidenciaron que todas las especies capturadas estaban bioacumulando metales pesados en ambos tejidos, lo cual podría generar problemas de salud pública por la ingesta de estos peces (Fuentes Gandara et al., 2018).

Marco teórico Conceptual.**Humedales**

Los humedales, son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él, estos se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas (Ramsar, 2006).

Según la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (RAMSAR), son humedales las extensiones de marismas, pantanos, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulce, salobre o saladas, incluidas las estaciones agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda a seis metros (UNESCO, 1971).

En ese sentido, los humedales constituyen una infraestructura natural que puede contribuir a alcanzar diversos objetivos de políticas. Además de ofrecer calidad y cantidad de agua, tienen un valor incalculable como apoyo a la mitigación del cambio climático y la adaptación a él, a la salud y los medios de subsistencia, al desarrollo local y a la erradicación de la pobreza (ten Brink, et al 2013).

Además, los humedales son algunas de las áreas de biodiversidad más importantes del mundo y constituyen el hábitat fundamental de numerosas especies. Actúan como sumideros de carbono, con lo cual contribuyen a mitigar el cambio climático y, por este motivo, su degradación puede provocar importantes emisiones de gases de efecto invernadero. Los humedales regulan asimismo el transporte de sedimentos, con lo cual contribuyen a la formación de tierras y a la estabilidad de la zona costera. Los manglares pueden desempeñar

importantes funciones de cría para los peces y constituir una fuente importante de proteínas, medios de subsistencia, materiales y combustible (ten Brink. et al, 2013).

La red mundial de la Convención de RAMSAR de “Humedales de Importancia Internacional” (Sitios RAMSAR), que comprende 2.338 sitios, con una extensión de más de 2,5 millones de km (hasta un 15 % de la superficie total estimada de humedales en el mundo) (RAMSAR, 2020).

En Colombia se encuentra certificados 9 humedales por la convención RAMSAR.

Tabla 4.

Sitios RAMSAR en Colombia

Humedales	Departamento	Fecha	Área (ha)
Complejo de Humedales de la Estrella Fluvial Inírida (EFI)	Guainía	8/07/2014	250,15
Complejo de Humedales del Alto Rio Cauca Asociado a la Laguna de Sonso	Valle del Cauca	14/02/2017	5,52
Complejo de humedales Lagos de Tarapoto	Amazonas	28/09/2017	45,46
Complejo de Humedales Laguna del Otún	Risaralda	25/06/2008	6,57
Complejo de Humedales Urbanos del Distrito Capital de Bogotá	Bogotá	6/08/2018	667,00
Delta del Río Baudó	Choco	5/06/2004	8,88
Laguna de la Cocha	Nariño	8/01/2001	39,00
Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta	Magdalena	18/06/1998	400,00
Sistema Lacustre de Chingaza	Cundinamarca	25/06/2008	4,05

Fuente: Elaboración propia.

Impactos ambientales en los humedales.

Las actividades antrópicas han alterado significativamente el hábitat marino costero. Esta degradación y pérdida de hábitat tiene importantes consecuencias económicas y sociales. Por ejemplo, la degradación y pérdida del hábitat ha reducido el tamaño y la diversidad de las poblaciones de peces, lo que a su vez disminuye las oportunidades para la pesca comercial y recreativa. La población humana continúa concentrándose cerca de las costas, aumentando la presión sobre el ecosistema marino costeros, causando por efecto las pérdidas de los humedales (NOAA, n.d.).

La fragilidad del complejo de humedales se refleja en la vulnerabilidad de sus ecosistemas y especies frente a las actividades antrópica. Por ejemplo, actividades turísticas y recreativas, corredores de transportes y servicios, actividades agropecuarias, pesca, contaminación de origen industrial, producción energética y minería (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018).

Los impactos relacionados con el uso del suelo, disminuye la carga de nutrientes, y esta, genera la condición eutrófica aumento de las clorofilas, aumenta la presencia de algas tóxicas, problemas de oxígenos disueltos, pérdidas de vegetación acuática sumergida y cambios en los parámetros físico químico del agua (Bricker et al., 2008). Consecuentemente, la desembocadura de aguas residuales e industriales pueden causar contaminación por compuesto disruptores endocrino naturales y sintéticos, en la biota y en los sedimentos de los humedales. (Pojana, Gomiero, Jonkers, & Marcomini, 2007).

Además, los metales pesados, son unos de los grupos de contaminantes que con gran facilidad alcanzan la zona costera y perturban el equilibrio ahí existente, poniendo en riesgo la salud del ecosistema. La preocupación en relación a los elementos metálicos potencialmente tóxicos es su posible combinación con compuestos orgánicos presentes en los

sedimentos costeros y su ingreso a las cadenas alimentarias donde pueden ocurrir procesos de bioconcentración y bioacumulación (Canedo-López, Ruiz-Marín, & Chi-Ayil, 2014).

Generalidades de los metales pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad entre 4 g/cm³ hasta 7 g/cm³ y un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg).

No todos los metales de densidad alta son especialmente tóxicos en concentraciones normales (algunos de ellos son necesarios para el ser humano). No obstante, hay una serie de metales pesados más conocidos por su tendencia a representar serios problemas medioambientales; el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (Tl), así como el cobre (Cu), zinc (Zn) y cromo (Cr). En ocasiones se incluye al hablar de contaminación por metales pesados a otros elementos tóxicos ligeros como el berilio (Be) o el aluminio (Al), o algún semimetal como el arsénico (As) (Ministerio de transición Ecológica, 2017).

Biodisponibilidad de los metales

La biodisponibilidad se refiere a la concentración de un metal que se encuentra disponible para los organismos vivos, y está definida por la relación que hay entre la concentración en el ambiente y el nivel introducido en el organismo (Lago Vila, 2018). Según (Jara-Peña, 2017), es la capacidad para atravesar libremente la membrana celular de un organismo desde el medio.

La biodisponibilidad de los metales en agua y suelo depende en gran medida de su distribución entre las fases sólida y de solución. Esta distribución depende a su vez del intercambio catiónico e iónico, la adsorción específica, la precipitación y la formación de complejos. Generalmente se reconoce que el pH es el factor de influencia más importante en la biodisponibilidad de los metales en los suelos, y la solubilidad. La presencia en el suelo o

sedimentos de arcillas y óxidos de Fe y Mn hidratados tiende a aumentar la adsorción de metales y, por lo tanto, a reducir los contenidos de metales solubles, mientras que los efectos del contenido de materia orgánica y el potencial redox son más bajo en sedimentos anegables (Rieuwerts, Thornton, Farago, & Ashmore, 1998).

Los metales pesados mencionados en el ámbito de la bio-absorción pueden ser clasificado en 3 categorías importante: metales toxico (Hg, Cr, Pb, Zn, Ni, Cd, As, Co, Sn, etc.), metales preciosos (Pb, Pt, Ag, Au, Ru, etc.) y radionúclidos (U, Th, Ra, Am, etc.) cuyos pesos específicos son usualmente mayores de 5 g/MI (Cuizano & Navarro, 2008).

Bioacumulación

La Bioacumulación se refiere a la captación de un químico por un organismo desde el medio biótico (alimento) y/o abiótico concentrándolo en el organismo. La acumulación de los contaminantes en el organismo a partir del agua y por la ingestión de alimento llevándose a cabo un aumento de las concentraciones, siendo este último la principal vía para la captación de contaminantes en todos los organismos.

La Bioacumulación de los metales ocurre cuando los organismos vivos, absorben el metal más rápidamente de lo que sus cuerpos pueden eliminar, por lo que el contaminante se bioacumula en sus tejidos u órganos. Cuando los metales se bioacumulan es transferido de un nivel trófico a otro incrementando su concentración a través de la cadena trófica, se considera que ha ocurrido la biomagnificación (Escobar, 2010).

Los peces, se encuentran en la parte superior de la cadena alimentaria de los ecosistemas acuáticos, pueden acumular grandes cantidades de metales pesados procedentes de alimentos, agua y sedimento (Fuentes Gandara et al., 2018).

El Mercurio (Hg)

El mercurio, es un metal líquido, inodoro, plateado, pesado y ligeramente volátil a temperatura ambiente, con un peso atómico de 200.59 g/mol. En estado sólido es blanco, dúctil, maleable y puede cortarse con un cuchillo. Su símbolo (Hg) se tomó de su nombre en latín: “hydrargyrum”, que significa plata líquida. Se encuentra en la corteza terrestre en una concentración de 0.5ppm, en combinación con azufre, formando más de una docena de compuestos diferentes. De estos compuestos, el más importante de ellos comercialmente, es el sulfuro rojo HgS, conocido como cinabrio, el cual contiene 86.2 % de Hg y 13.8 % de azufre (<https://quimica.unam.mx>).

Actualmente, sus usos son variados y numerosos, dependen principalmente del aprovechamiento de sus propiedades fisicoquímicas como volumen de expansión, conductividad eléctrica, toxicidad y habilidad para alearse con otros metales. Entre las aplicaciones de este metal se encuentran: como catalizador de oxidaciones orgánicas, en recubrimiento de espejos, en lámparas de arco para generar rayos UV y lámparas fluorescentes, en instrumentos como barómetros, termómetros, hidrómetros y pirómetros, en la extracción de oro y plata de sus minerales, en la generación de amalgamas, en rectificadores eléctricos. También, se puede encontrar en la determinación de nitrógeno por el método Kjeldhal; como reactivo de Millon, como cátodo en electrólisis y electroanálisis; en pilas y en la manufactura de sales de mercurio, productos farmacéuticos, agroquímicos y pinturas.

Desde luego muchos de estos usos han sido prohibidos en muchos países debido a su alta toxicidad. Por ejemplo, en pesticidas, productos de lavandería, cosméticos y pinturas. Tanto el mercurio como sus sales tienen una gran resistencia a la biodegradación, por lo que se acumulan creando graves problemas de contaminación ambiental (MSDS, n.d.).

Cromo (Cr)

Elemento químico, símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996; metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo. Sin embargo, es relativamente suave y dúctil cuando no está tensionado o cuando está muy puro. Sus principales usos son la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistentes al calor y como recubrimiento para galvanizados. El cromo elemental no se encuentra en la naturaleza. Su mineral más importante por abundancia es la cromita. El Cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de Cromo (III) y Cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas (Lenntech, 2012).

El cromo es un elemento que principalmente existe en dos estados, hexavalente Cr (VI) y trivalente Cr (III). El Cr (VI) es comúnmente originado de los desperdicios y contaminantes industriales, siendo por esto causa importante de preocupación por la salud humana, ya que se ha asociado con diversos tipos de cáncer. En la naturaleza, su forma Cr (III) es la más común. Desde hace tiempo, se ha documentado que el Cr (VI) tiene la capacidad de penetrar las membranas celulares a través de transportadores de iones de sulfato. Una vez que el Cr (VI) entra en la célula, es reducido a Cr (III). Las consecuencias biológicas de estos daños pueden ser la aparición de mutaciones, alteraciones en el genoma y hasta inducir la muerte celular (Santoyo, 2008).

Cadmio (Cd)

Es relativamente raro en la naturaleza. Es de color blanco ligeramente azulado. Peso atómico 112 y densidad relativa 8. Tiene ocho isótopos estables y presenta once radioisótopos inestables de tipo artificial. Naturalmente no se encuentra en estado libre y la greenockita (sulfuro de cadmio) es el único mineral de cadmio. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinado de los minerales de zinc.

El cadmio se usa en pinturas, plásticos, pilas, baterías, abonos, soldaduras, asbestos, pigmentos, barras (reactores nucleares), farmacéutica, fotografía, vidrio, porcelana, etc. Para la mayoría de los seres vivos la principal fuente de exposición al cadmio son los alimentos y el agua, pequeñas partículas de cadmio son absorbidas por el aparato respiratorio, especialmente en trabajadores de la industria del cadmio y en personas expuestas al humo del tabaco. En animales, los rangos de absorción son muy diversos, pero más bajos que en humanos. Las especies con dieta vegetal son las de mayor acumulación de cadmio, debido a que los alimentos ricos en fibra como cereales, vegetales y papas contribuyen a una mayor exposición (Londoño Franco et al., 2016).

La exposición humana se produce en mayor medida a través del consumo de alimentos contaminados, la inhalación activa y pasiva del humo del tabaco, y la inhalación en el caso de los trabajadores de la industria de metales no ferrosos. El cadmio tiene efectos tóxicos en los riñones y en los sistemas óseo y respiratorio; además, está clasificado como carcinógeno para los seres humanos (OMS, 2016).

Níquel (Ni).

Es un elemento químico de número atómico 28, densidad 8908 kg/m³ y su símbolo es Ni, situado en el grupo 10 de la tabla periódica de los elementos. El níquel puro es un metal duro, blanco-plateado, que tiene propiedades que lo hacen muy deseable para combinarse con otros metales y formar mezclas llamadas aleaciones. Algunos de los metales con los cuales se combina el níquel son el hierro, cobre, cromo y cinc. Estas aleaciones se usan para fabricar monedas y joyas y en la industria para fabricar artículos tales como válvulas e intercambiadores de calor. La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable.

El níquel también se combina con muchos otros elementos tales como el cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel. Muchos de los compuestos de Níquel son

solubles en agua (se disuelven fácilmente en agua) y tienen un color verde característico. El Níquel y sus compuestos no tienen ni olor ni sabor característico, los compuestos de este metal, se usan para niquelado, colorear cerámicas, fabricar baterías, y como sustancias conocidas como catalizadores, que aceleran la velocidad de reacciones químicas (“Níquel - EcuRed,” n.d.; “Resumen de Salud Pública: Níquel (Nickel) | PHS | ATSDR,” n.d.).

También, el Níquel puede ser liberado al ambiente por las chimeneas de grandes hornos usados para fabricar aleaciones o por plantas de energía e incineradores de basura. El níquel que se origina de las chimeneas de plantas de energía se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas del aire en la lluvia. Las condiciones acídicas favorecen la movilización del níquel en el suelo y facilitan su filtración hacia el agua subterránea.

En ese sentido, ingerir este metal, puede ocasionar daños en salud tales como; reacción alérgica, dolores de estómago y alteraciones de la sangre (aumento de glóbulos rojos) y los riñones (aumento de proteínas en la orina). Los efectos más graves bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer de los pulmones y los senos nasales (“Resumen de Salud Pública: Níquel (Nickel) | PHS | ATSDR,” s.f.).

Capítulo III.

Metodología



Figura 1. Resumen de la metodología de la investigación.

Fuente: Elaboración propia

Paradigma de la investigación

El paradigma pertinente para el presente trabajo de investigación es el interpretativo debido a que, mediante este, es posible hacer una reflexión del contexto desde la praxis, involucrando las características y factores identificados en el proceso de investigación; consecuentemente, aspira al descubrimiento y comprensión de los fenómenos en condiciones naturales de su contexto (Hurtado & Toro., 1998).

En ese sentido, este tipo de paradigma es el pertinente para la presente investigación porque permite analizar características del objeto de estudio, con el propósito de analizarlo y posteriormente describirlo e interpretarlo.

Enfoque de la investigación

Se toma como enfoque para el desarrollo del proceso de la investigación, al *enfoque cualitativo*, debido a que su metodología permite utilizar la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación. según Hernández, Fernández & Baptista (2014) este tipo de enfoque:

Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (p.4).

En ese sentido, este tipo método es apropiado para esta investigación, ya que, la realidad investigada presenta características que impulsan a la cuantificación de sustancias contaminantes de la misma, y como consecuencia de eso, impulsa a la comparación y análisis de datos con los cuales se pretende confirmar, aclarar y puntualizar, la cantidad de componentes contaminantes dentro de la ciénaga; es justamente esa complejidad de análisis de la realidad, la que fundamenta el uso de herramientas tanto cuantitativas para identificar los resultados del estudio.

Tipo de investigación

Se considera que la actual investigación es de tipo *no experimental*, ya que, según Baptista, Fernández y Hernández, (2014), mediante este tipo de investigación:

Se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos. (P.152).

En ese sentido, lo que se pretende en este proyecto de investigación, es observar y analizar una situación ya existente en la ciénaga, con el propósito de cuantificar, identificar y describir puntualmente los componentes de contaminación que están presentes en dicho cuerpo de agua.

Para efectos del presente proyecto de tipo no experimental, se definió un plan de trabajo que incorpore los diferentes aspectos necesarios para cumplir con los objetivos del proyecto, por lo cual se organizó una estrategia con técnicas e instrumentos que permitieron el análisis, desarrollo, comprensión e interpretación adecuado y lógico de este.

Diseño o alcance de la investigación

Teniendo en cuenta que la presente investigación es de tipo no experimental, Baptista, Fernández y Hernández, (2014), manifiestan que, este tipo de proyectos, funcionan bajo un diseño que tienen un alcance específico. En ese sentido, para esta investigación se toma al *diseño transeccional o transversal*, ya que en esta “el propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede” (Baptista, Fernández y Hernández, 2014). Además, estos mismos autores, consideran que:

El propósito de los diseños transeccionales exploratorios es comenzar a conocer una variable o un conjunto de variables, una comunidad, un contexto, un evento, una situación. Se trata de una exploración inicial en un momento específico (P.155).

Es por esto que, este diseño de investigación es el pertinente para el presente proyecto, porque proporciona las características necesarias para explorar un fenómeno que ya se encuentra en el contexto que se investiga, con la finalidad de describirlo y cuantificarlo.

Área de estudio

La recolección de las muestras de sedimento utilizado en la realización del presente proyecto, se llevó a cabo en la ciénaga de mallorquín, ubicada en el departamento del Atlántico, la cual hace parte de la convención relativa de los humedales de importancia internacional (RAMSAR), especialmente por representar el hábitat de aves acuáticas (director, Oficina de Normas Internacionales y Asuntos Legales Organización de las, 1994).

Mallorquín es una laguna costera estuarina poco profunda, se encuentra ubicada la izquierda del tajamar occidental de Bocas de Cenizas, río Magdalena (**Figura 2**).

Por el costado suroriental limita con la población de Las Flores, por el suroccidente con la población de La Playa y por el noroeste con la barra de arena que la separa del mar Caribe (Portz, et al 2020). Posee una barrera costera que se caracteriza por ser un área de dunas, además, hay presencia de diferentes tipos de mangles como: *Avicennia Germinans*, *Conocarpus Erecta* and *Laguncularia racemosa* species, and *Rhizophora mangle* (Fyhr, 2007; López & Sierra, 2005; Mangones & León, 2014). El área de mangle registró una pérdida de 15 hectareas en el período 1985-2018, asociado con alteraciones en la hidrología, la tala ilegal, el crecimiento urbano y la erosión costera (Villate, et al 2020). En ese sentido, la ciénaga de Mallorquin, desempeña un papel importante en el campo ambiental de la Región Caribe de Colombia.

En cuanto a la dinámica hídrica de la laguna, están involucrados, además, del retroceso de la barra de arena que separa la laguna del mar, una serie de factores que intervienen para configurar su funcionamiento hidráulico: inlet de comunicación laguna-mar, que intercambia agua del sistema; la evaporación, que extrae agua, y la precipitación, la esorrentía natural de la cuenca, tres compuerta en el tajamar occidental que comunica con el

rio Magdalena y los vertimientos de la planta de tratamiento de aguas residuales, que introducen agua al sistema (Uribe, 2006).

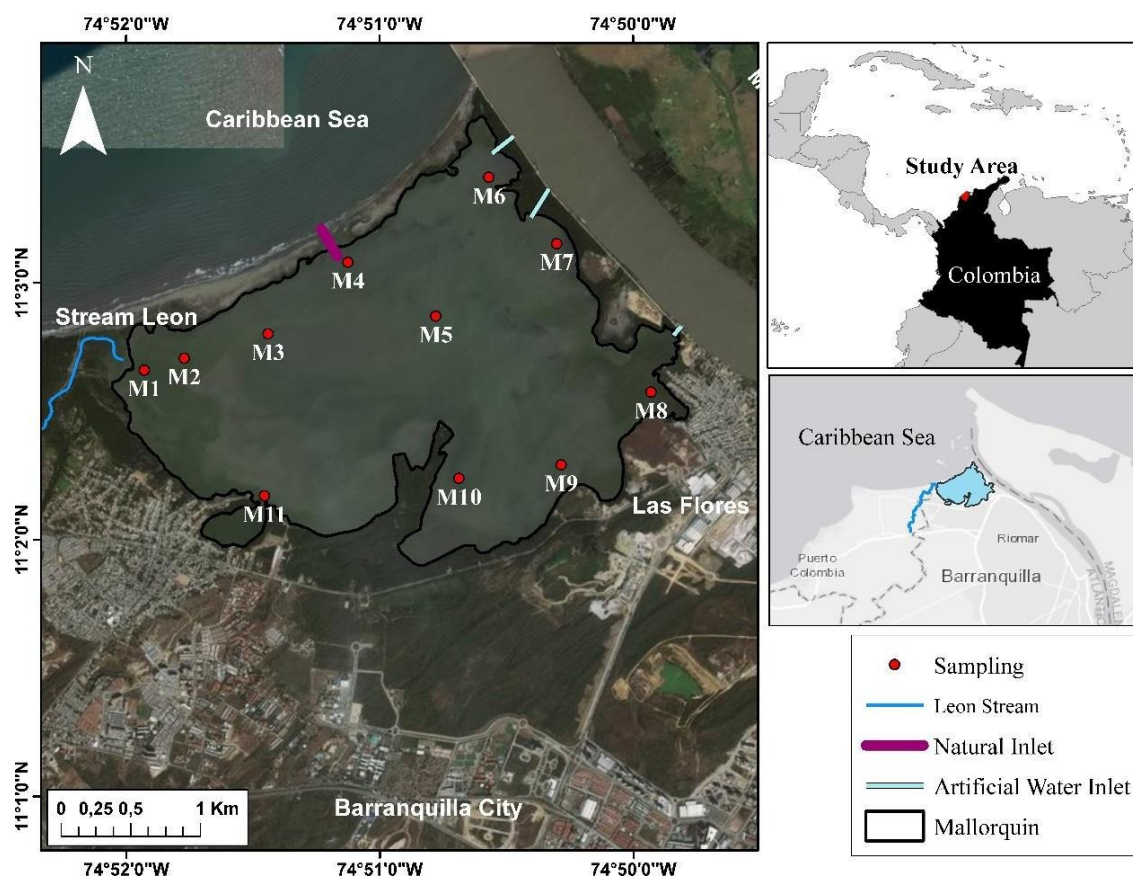


Figura 2. Zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

La falta de planificación en materia de ordenamiento territorial ha permitido la instalación de numerosos pobladores en su ribera, robándole hectáreas a la ronda hídrica de la ciénaga, como consecuencia de esto, se ha reducido los manglares y la fuente de productividad pesquera (Pino, 2005).

La laguna de Mallorquín, está sujeta a una enorme presión humana, las fuentes de vertimientos líquidos y sólidos en la laguna, son recurrentes por parte de las poblaciones y empresas situadas alrededor de la misma (Universidad del Norte, 2005). Además, recibe una variedad de sustancias con indicios de polución que son transportadas por el río Magdalena, el Arroyo León (que recibe aguas residuales y fluviales de la ciudad de Barranquilla) y a

través de un antiguo aterro sanitario de la ciudad, situado en su orilla (Franco, & León, 2010; INVEMAR, 2019; Mangones & León, 2014). En esta zona también se desarrollan actividades portuarias, agrícolas y se vierten aguas residuales provenientes de Barranquilla y Soledad (INVEMAR, 2019a).

En la laguna, son pocos los estudios de metales pesados que se ha realizado; entre las investigaciones se encuentran los informes técnicos de la Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM) publicado por INVEMAR, (2019). Las investigaciones realizadas por Fuentes-Gandara, 2016 y 2018) donde advierte sobre los riesgos en la salud por el consumo de especies íctica de la ciénaga de Mallorquín.

Muestra

La distribución de las muestras en la zona de estudio está presentada en la figura 3, tabla 5. El muestreo de los sedimentos sobre la barra arenosa se realizó mediante ensayo de SPT (siglas en ingles sistema Standard-Penetration-Test, Penetración Estándar), por medio del método directo in- situ de percusión y extracción de muestras por cada sondeo (figura 4), se ejecutaron 30 metros de perforación distribuidos en tres (03) sondeos de 10 metros en cada perforación; se extrajeron evidencias con el muestreador de cuchara partida (Split Spoon) (figura 5) (Insignares, s.f.), además, las muestras fueron extraídas con una jeringa plástica, posteriormente se procedió a empacarla y rotularla en bolsas ziploc.



Figura 3. Muestras de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Penetración estándar.

Fuente: Elaboración propia



Figura 5. Selección de la muestra

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.

Coordenadas de los puntos de muestreo

FID	Id	ESTE	NORTE	LONGITUD	LATITUD
0	M1	514694,381	1220884,128	74° 51' 55,692" W	11° 2' 39,581" N
1	M2	514981,379	1220968,562	74° 51' 46,232" W	11° 2' 42,326" N
2	M3	515583,369	1221143,647	74° 51' 26,388" W	11° 2' 48,017" N
3	M4	516155,768	1221657,768	74° 51' 07,514" W	11° 3' 4,747" N
4	M5	516787,226	1221270,730	74° 50' 46,708" W	11° 2' 52,136" N
5	M6	517168,227	1222266,888	74° 50' 34,134" W	11° 3' 24,562" N
6	M7	517655,061	1221790,554	74° 50' 18,096" W	11° 3' 09,045" N
7	M8	518332,428	1220725,002	74° 49' 55,790" W	11° 2' 34,341" N
8	M9	517687,084	1220203,422	74° 50' 17,069" W	11° 2' 17,370" N
9	M10	516953,337	1220106,179	74° 50' 41,253" W	11° 2' 14,217" N
10	M11	515557,167	1219982,152	74° 51' 27,270" W	11° 2' 10,202" N

COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREOS EN LA BARRA DE LA CIÉNAGA MALLORQUÍN

FID	Id	Este	Norte	Longitud	Latitud
11	SPT1	517047,483	1222842,002	74° 50' 38,103" W	11° 3' 43,289" N
12	SPT2	516478,753	1222031,573	74° 50' 56,863" W	11° 3' 16,912" N
13	SPT3	515943,600	1221736,500	74° 51' 14,506" W	11° 3' 07,314" N

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, la recolección de las muestras de sedimentos que se tomaron del fondo de la ciénaga, no se realizó de manera arbitraria, por el contrario, se llevó a cabo mediante el método de muestreos bénticas (Ramírez, s.f), el cual se utiliza para ambientes de agua someras e intermedias. Es relevante aclarar qué, para poder realizar este tipo de muestreo, fue

necesario trasportarse en un bote, y, además, se utilizó una draga Ponar PG recolectora, la cual se encontraba sujeta con una línea que permitió bajarla al fondo de la ciénaga, con el fin de recolectar las muestras de sedimento. Posteriormente, la muestra tomada de la draga se succionó con jeringas plásticas y se procedió a embazar en botellas de vidrio, las cuales seguidamente fueron rotuladas y selladas.

Capítulo IV.

Análisis e interpretación de los resultados

Análisis de granulometría

La granulométrica se realizó utilizando un sistema de análisis de partículas LASER Horiba (modelo LA-950V2). Se analizó una porción de 5 a 10 gramos de cada muestra, en el Centro de Estudios de Geología Costera e Oceánica - Instituto de Geo ciencias de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Brasil. El contenido de materia orgánica se determinó después de la incineración húmeda y se expresó como sustancia orgánica por % de materia seca, realizado en los laboratorios de la Universidad de la Costa - CUC.

Análisis metales pesados

La preparación de la muestra se realizó mediante digestión ácida en microondas con “Multiwave” sistema en cinco etapas del programa, llevado a cabo utilizando espectrometría de absorción atómica de horno de grafito (GFAAS). Las recuperaciones fueron cuantitativas para todos los elementos estudiados (mayor que o igual a 95%).

Para medir la concentración total de mercurio (Hg) en los sedimentos se utilizó un analizador de mercurio LUMEX®, Brevemente, 5 ml Se agregó una muestra mineralizada en

una celda del equipo y luego 1 ml de SnCl_2 . El producto de la reacción de Hg^{2+} y SnCl_2 , fue mercurio gaseoso (Hg_0), el cual fue medido.

Procesamientos de los mapas temáticos

Para el procesamiento de los mapas temáticos se utilizó el software ArcMap®, el cual permite manejar sistema de información geográfica, cuenta con muchas funcionalidades para crear mapas robusto y dinámico.

En el desarrollo de los mapas de dispersión de la concentración de los metales pesado se utilizó la herramienta de interpolación, el cual permitió que las concentraciones en los puntos de muestreo distribuido en la ciénaga, espacialmente, estuvieran correlacionadas con la distancia. Para nuestro proyecto se analizó mediante el método de interpolación IDW (Ponderación de Distancia Inversa). Este método de interpolación estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio. El promedio no puede ser mayor que la entrada máxima o inferior que la entrada mínima. Por lo tanto, no puede crear crestas o valles si estos extremos aún no se han muestreado (ArcGIS for Desktop,” 2016).

Resultados

Distribución de la granulometría

Teniendo en cuenta el resultado de la tabla 6 y figura 3, el tipo sedimento de la ciénaga de Mallorquín corresponde a un 73% limo-arcilla con una variación entre 96,88% a 100% y el 27% contiene arena con variación entre 3,43% a 15,57%. El contenido de materia orgánica (MO) en las muestras con características limo-arcilla varía entre 8,6% a 15,3%. Sin embargo, la muestra M7, M10 y M11 según el estudio granulométrico es de tipo arena y

contiene un porcentaje de MO respectivamente de 1,6%, 3,8% y 1,4%. Es observada una relación entre la concentración de materia orgánica y el tamaño del grano.

Tabla 6.

Contenido de la materia orgánica, porcentaje de la arcilla limosa.

Samples	% MO	Mean Size (μm)	Median Size (μm)	% Limo -Arcilla	Tipo
M1	10,9	9,47	6,29	99,77	Limo-Arcilla
M2	9,2	11,37	14,37	98,94	Limo-Arcilla
M3	10,7	4,33	8,40	98,23	Limo-Arcilla
M4	15,3	9,09	9,93	100	Limo-Arcilla
M5	8,6	7,63	9,80	100	Limo-Arcilla
M6	8,9	10,26	14,63	96,88	Limo-Arcilla
M7	1,6	125,70	125,30	4,22	Arena
M8	12,3	4,75	7,44	98,88	Limo-Arcilla
M9	10,6	7,83	11,90	98,14	Limo-Arcilla
M10	3,8	129,17	117,43	15,57	Arena
M11	1,4	156,77	157,48	3,43	Arena
SPT2 0,5-1,0	3,3	133,02	142,90	16,24	Arena
SPT2 2,0-2,5	3,6	57,28	57,83	44,43	Arena / Limo-Arcilla
SPT2 3,0-3,5	2,2	165,48	166,58	9,34	Arena
SPT3 0,9-1,0	1,7	167,01	169,71	13,93	Arena
SPT3 2,0-2,5	3,0	85,44	94,67	32,88	Arena / Limo-Arcilla

Fuente: Elaboración propia.

En la barra arenosa se encontró que el porcentaje de materia orgánica son bajos, los cuales varía entre 1,7% a 3,6% y el tamaño del grano varía entre 59,83μm a 169,67μm de tipo arena/ limo- arcilla, siendo el tamaño del grano directamente proporcional a la concentración de materia orgánica.

El modelo granulométrico espacial se puede evidenciar en la figura 3, en el cual se puede relacionar con los sectores. La muestra M7, M10 y M11 corresponden a los granos más grandes, por otro lado, los sectores que tiene los sedimentos más finos se encuentra en la desembocadura del arroyo León entre la muestra M1, M2 Y M3, en el inlet de la ciénaga (M4 y M5), las compuertas del río Magdalena (M6) y zonas del antiguo botadero de las flores (M8 y M9).

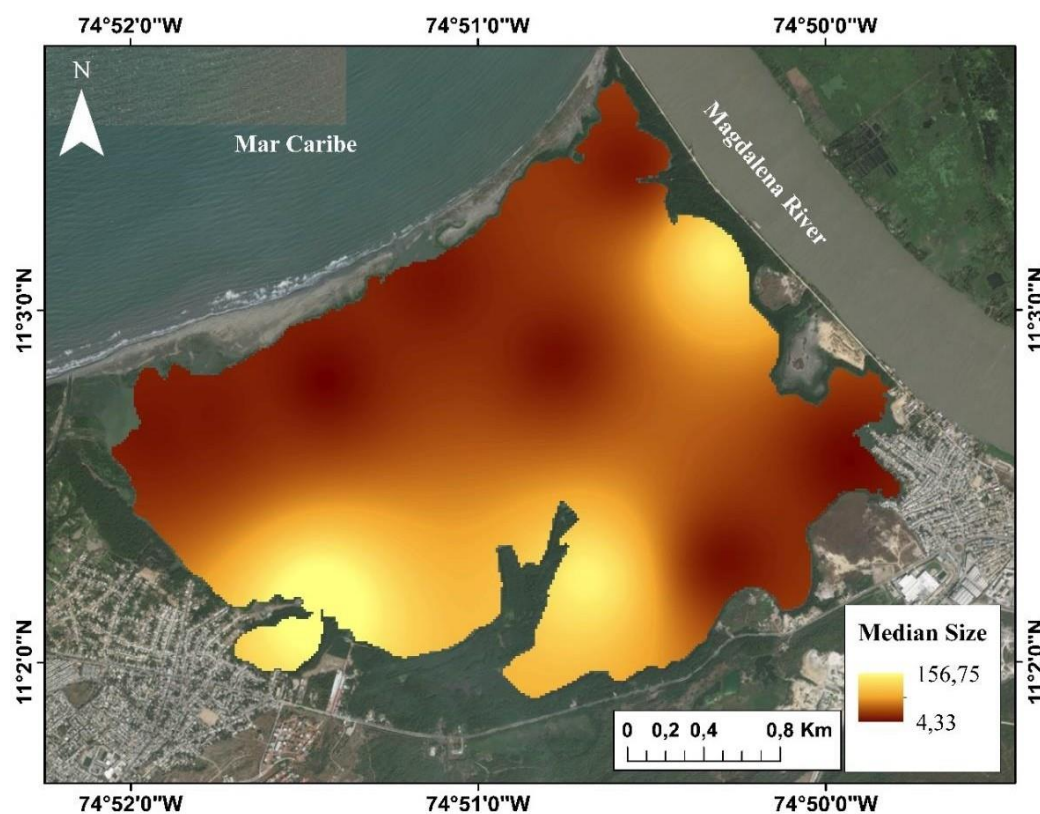


Figura 6. *Tamaño medio grano (um) de sedimentos superficiales de la laguna Mallorquín. Interpolación por método IDW (Interpolación Ponderada de Distancia Inversa) utilizando ArcMap® 10.6.*

Fuente: Portz, et al. 2020.

Concentraciones de metales pesados en sedimento

Las concentraciones de metales son presentadas en la tabla 7. Se detectaron altos niveles de contaminación, especialmente para Hg, Cr y Cd, en las muestras M4, M5, M8 y M9. A diferencia de esas altas concentraciones, las concentraciones más bajas se encontraron en las muestras M7, M10 y M11.

Los valores de referencia para los efectos del umbral (TEL) y los efectos probables (PEL) se tomaron de Buchman, (2008) y el valor de referencia EPA se toma de la tabla del marco de legislación de Pino, (2006).

Tabla 7.

Concentraciones de elementos químicos, contenido de materia orgánica y porcentaje de limo- arcilla en el sedimento.

Id	Ni ug.g⁻¹	Cr ug.g⁻¹	Cd ug.g⁻¹	Hg ug.g⁻¹	% MO	% Limo-Arcilla
M1	40,538	85,835	1,163	0,117	10,9	99,77
M2	34,517	77,714	0,739	0,193	9,2	98,94
M3	39,683	87,038	0,711	0,124	10,7	98,23
M4	45,474	96,704	1,212	0,199	15,3	100,0
M5	44,453	100,378	1,076	0,153	8,6	100,0
M6	47,605	97,737	1,850	0,140	8,9	96,88
M7	17,730	55,198	0,248	0,031	1,6	4,22
M8	44,198	90,408	1,023	0,122	12,3	98,88
M9	47,320	104,918	1,086	0,143	10,6	98,14
M10	16,877	59,526	0,131	0,064	3,8	15,57
M11	11,118	40,685	0,386	0,060	1,4	3,43
SPT2 0,5-1,0	28,401	70,316	0,731	0,055	3,3	16,24
SPT2 2,0-2,5	-	-	1,211	0,149	3,6	44,43
SPT2 3,0-3,5	22,215	55,973	0,435	0,085	2,2	9,34
SPT3 0,5-1,0	28,250	58,516	0,934	0,085	1,7	13,93
SPT3 2,0-2,5	28,927	60,359	1,092	0,170	3,0	32,88
Ref, TEL	15,900	52,300	-	0,130	-	-
Ref, PEL	42,800	160,000	-	0,700	-	-
Ref, EPA	-	-	2,0	-	-	-

Fuente: Portz, et al. 2020.

En el fondo de la ciénaga las concentraciones para el Ni y el Cr superaron los límites admisible para los efectos del umbral (TEL), a excepción de la muestra (M11) que estuvo por debajo de los límites. Los valores de las muestras Ni (M1, M2, M3, M7, M10 y M11) y todos los valores del Cr y Hg estuvieron por debajo del límite de efectos probables (PEL). Sin embargo, los valores Hg de la muestra (M1, M3, M7, M8 y M11) superaron los valores TEL; los valores del Cd estuvieron por debajo del límite admisible según la Agencia de Protección Ambiental “EPA” (USA).

En el sedimento de la ciénaga de Mallorca, se determinó que entre las concentraciones, la más elevada, se encuentra el Cr con una concentración promedio de

81,467 ug.g-1, seguida de esta el Ni con 35,410 ug.g-1, después el Cd con 0,875 ug.g-1 y por último el Hg 0.122 ug.g-1. Teniendo en cuenta las figuras 5 y 6, se puede observar que la muestra (M6) mostro la mayor concentración de Ni (47,605 ug.g-1) y Cd (1,850 ug.g-1), la muestra (M9) la mayor concentración del Cr (104,918 ug.g-1) y la muestra (M4) la mayor concentración del Hg (0,199 ug.g-1) . Los valores más bajo se encontraron en las muestras; M7 (Hg 0,031 ug.g-1), en la M10 (Cd 0,131 ug.g-1) y en la muestra M11 se observó lo valores más bajo de Ni con 11,118 ug.g-1 y de Cr con 40,685 ug.g-1 (figuras 8 y 9).

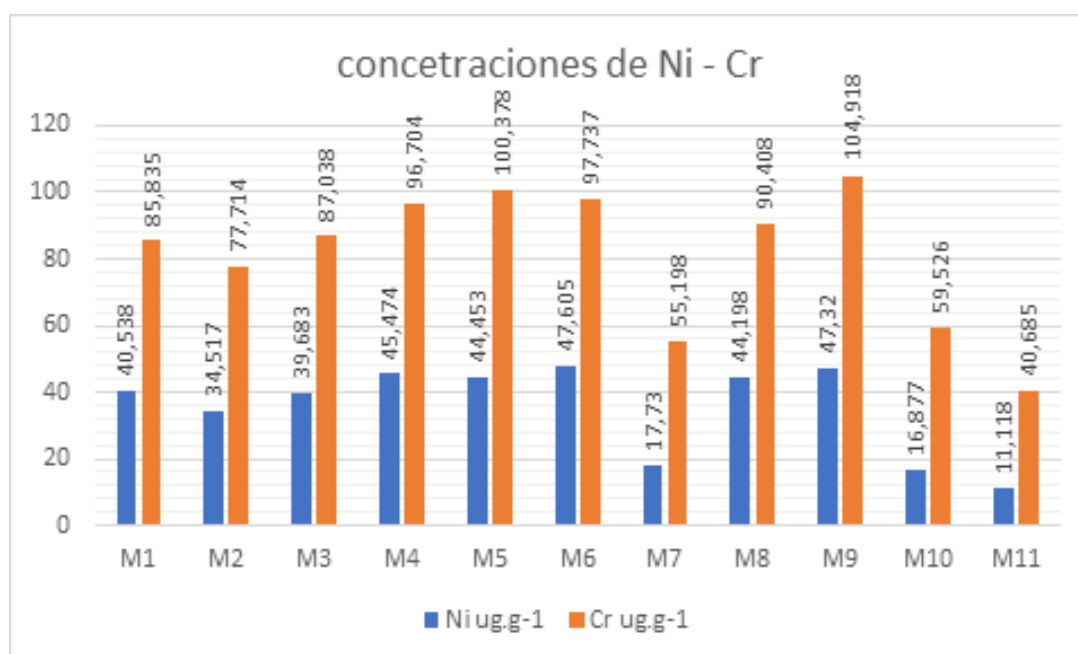


Figura 7. Concentraciones de Ni - Cr en el sedimento de la Ciénaga de Mallorca

Fuente: Elaboración propia

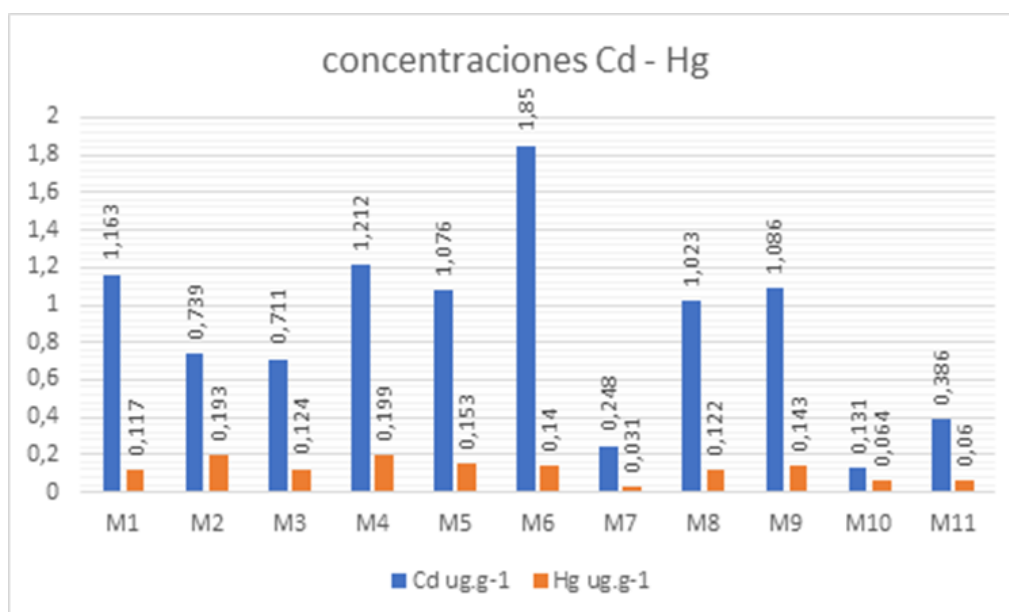


Figura 8. Concentraciones de Cd - Hg en el sedimento de la Ciénaga de Mallorquín

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de concentración de metal para la barra arenosa fueron intermedios en comparación con el fondo de la laguna y no tuvieron una variación considerable con la profundidad. En estas muestras (Figura 6), se determinó que los valores de los elementos Ni y Cr sobrepasaron los límites TEL. Pero estuvieron por debajo de los límites PEL incluido los valores del Hg. En el Hg solo la muestra (SPT3 2,0-2,5) estuvo por encima del límite TEL. Sin embargo, hay valores que ya están muy cerca de los límites TEL.

En la muestra tomada en la barra arenosa, igual que en los sedimentos de la ciénaga, el elemento químico estudiado con mayor concentración promedio es el Cr con una concentración promedio en el sedimento de 61,291 ug.g-1, seguida del Ni con 26,948 ug.g-1, Cd con 0,881 ug.g-1 y Mg con 0,109 ug.g-1 (Tabla 7).

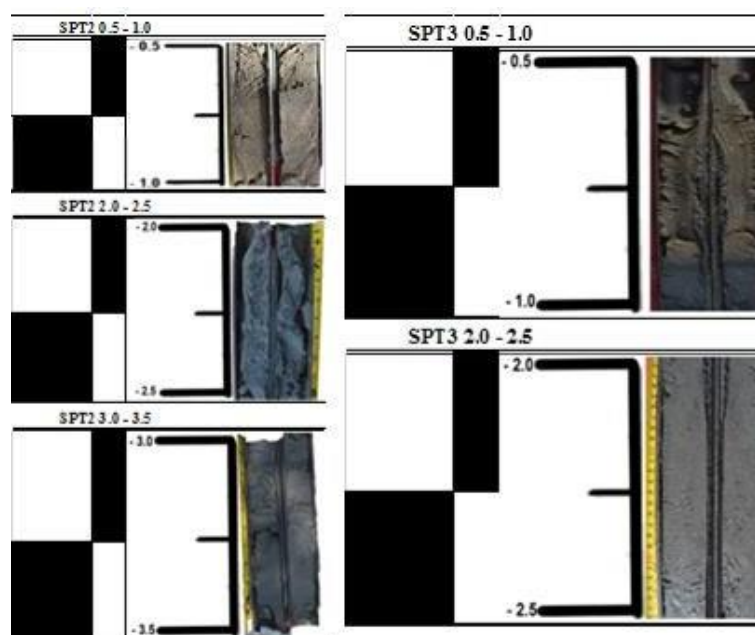


Figura 9. Muestras SPT 2 y Muestras SPT 3

Fuente: Elaboración propia.

Dado que los SPT se realizaron en diferentes sitios de la barra arenosa (figura 1), se compararon con la sumatoria de todas las concentraciones de todos los elementos químicos estudiados para cada SPT y se logra identificar que el SPT2, a pesar de que no se obtuvo resultado del Ni y Cr en la muestra tomada entre la profundidad 2,0 – 2,5 metros (m). Es el que se encuentra más contaminadas por metales pesados. En la muestra SPT2 entre la profunda 0,5m – 1,5m mostro la mayor concentración de Cr y Ni (figura 7) y la menor concentración de esto metales en la muestra tomada entre la profundidad de 3,0 m y 3,5 m. presuntamente se puede decir que a mayor profundidad menor concentración de Cr y Ni, pero hace falta datos para afirmar esta hipótesis.

Por otro lado, el Cd y el Hg mostraron una variación diferente al del Cr y Ni. las concentraciones de las tres muestras tomadas del SPT2, se observó que Cd en la primera muestra mostro una concentración de 0,731 ug.g-1, en la segunda muestra entre la profundidad de 2,0m – 2,5 m aumento la concentración a 1,211 ug.g-1 y en la tercera muestra

disminuyo la concentración a 0,435 ug.g-1. De forma semejante, ocurrió con el Hg, en la muestra mostro una concentración de 0,055 ug.g-1, en la segunda muestra aumento la concentración a 1,211 ug.g-1 y en la tercera muestra disminuyo a 0,435 ug.g-1 (figura 8).

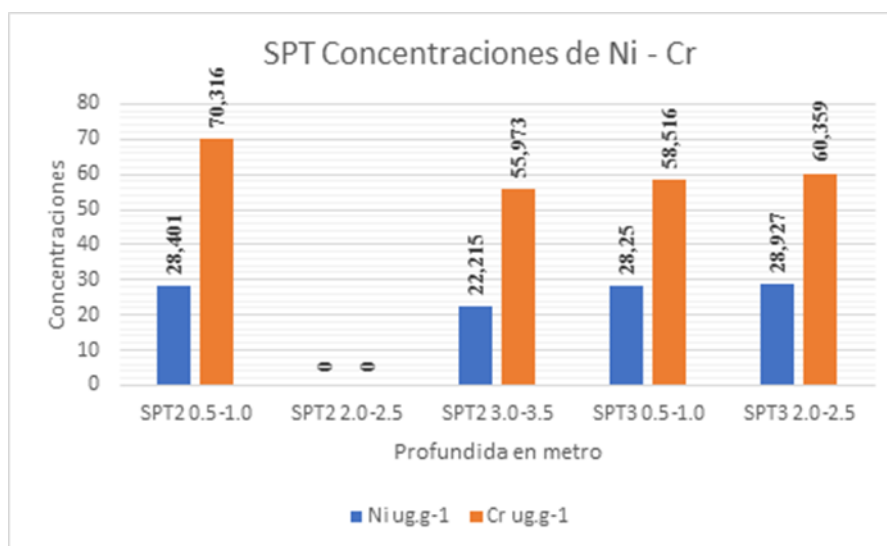


Figura 10. Contenido de Níquel y Cromo en SPT2 y SPT3

Fuente: Elaboración propia.

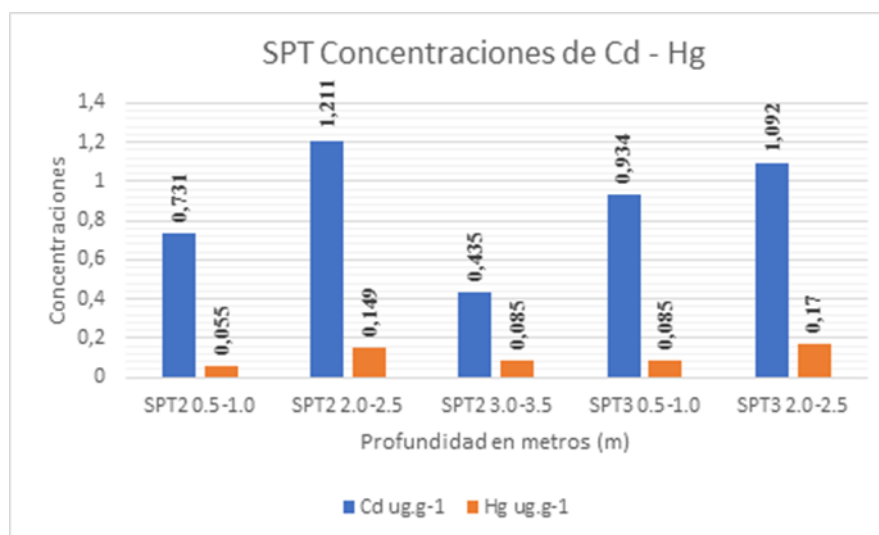


Figura 11. Contenido de Cadmio y Mercurio en SPT2 y SPT3

Fuente: Elaboración propia.

En la muestra tomada en el SPT3, se observó que las concentraciones aumentaron con la profundidad. En la muestra tomada entre 0.5m a 1.0m se encontró una concentración de 58,516 ug.g-1 para el Cr, una concentración de 28,25 ug.g-1 para el Ni, una concentración de

0,934 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para el Cd y una concentración de 0,085 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para el Hg. En la segunda muestra tomada aumentaron las concentraciones para todos los metales estudiados tal como lo muestra la figura 7 y 8.

En la figura 9 se puede visualizar la distribución espacial de cada elemento químico. En el cual, se pudo analizar que la muestra M6 ubicada al noreste de la ciénaga, presenta la tonalidad más oscura de colores de alta concentración, exceptuando el Hg. Cabe resaltar que el sondeo SPT2 que presentó los valores más altos de contaminación, se realizó cerca de este sector. También se pudo visualizar que los metales de Cr y Ni tienen una distribución similar. En cada uno de los mapas se notó que los sectores menos contaminados son equivalentes para todos los metales y guardan relación con los sectores donde se distribuye el sedimento de tipo arena.

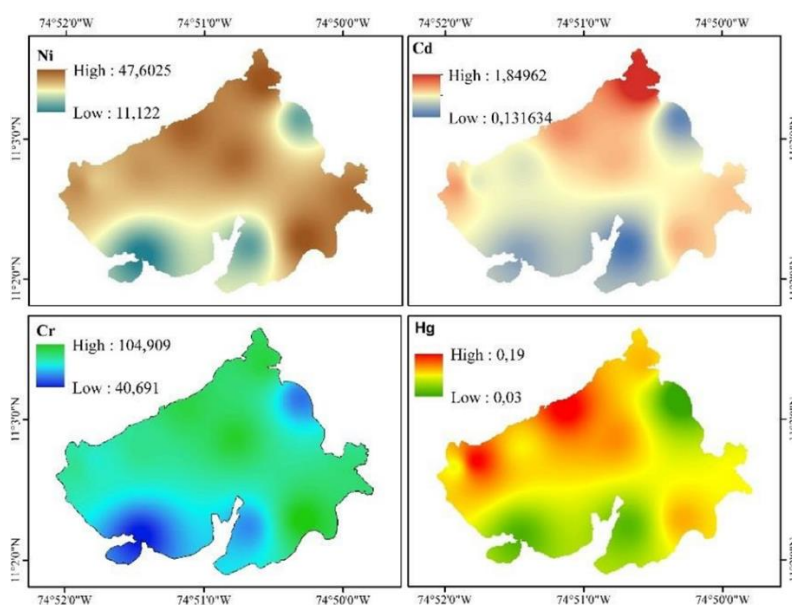


Figura 12. Distribución espacial de metales pesados en sedimentos de la laguna Mallorquín (valores en $\mu\text{g.g}^{-1}$). Fuente: Elaboración propia.

Capítulo V.

Discusiones y conclusiones

Discusiones

Solo un 11% de la calidad de las aguas marinas costeras de la región Caribe y Pacífico colombiano se encuentra en estado óptimo, unas de las principales fuentes de contaminación en las zonas costeras de Colombia, son los ríos, y entre los 99 ríos más importantes de Colombia, el principal, que se desemboca en la costa Caribe es el río Magdalena (INVEMAR, 2019b). A lo largo del río Magdalena, están presentes diferentes actividades como de minería, agricultura, marítima, portuaria y asentamientos humanos, entre otras. Además, la problemática de los residuos sólidos ha contaminado esta principal red hídrica que termina su drenaje entre el Departamento del Atlántico, Magdalena y Bolívar, desembocando en el mar Caribe. Consecuentemente, es así como estas actividades resultan en una problemática de contaminación a los diferentes humedales costeros que son alimentados por esta red hídrica (Alonso, et al. 2000), (Fuentes et. al, 2018) y (Vallejo et al., 2016b).

Por otro lado, es claro que, en el Departamento del Atlántico, son escasos los estudios científicos realizados por la contaminación de metales pesados en la zona marina costera y en ese sentido, hay pocos referentes respecto a la ciénaga de Mallorquín, pero, uno de los referentes que plantean la presencia de metales y contaminación en la ciénaga, se encuentra el de Franco, Alejandro y León (2010) también los de (Fuentes, Gándara et al. 2018) y los informes de INVEMAR (2019a). En los cuales se propone y manifiesta la importancia de realizar estudios para la preservación de dicho ecosistema y cuerpo de agua, dándole pertinencia al presente proyecto, además, en esas investigaciones se manifiestan las constantes contaminaciones a las que está enfrentada este cuerpo hídrico del departamento.

En ese sentido, mediante el proceso de investigación que se realizó en el presente proyecto, se pudo constatar que actualmente la ciénaga de Mallorquín, actúa como una trampa de metales pasados por el flujo hídrico que proviene del arroyo León, del río Magdalena, del inlet de la barra arenosa y de las aguas de infiltración directa, que a su vez arrastran los lixiviados del antiguo basurero del Barrio Las Flores y los asentamiento que drenan las aguas residuales directamente en la ciénaga, esto mismo se puede comparar en los estudios realizados por (Crautoma, 2006; López & Sierra, 2005).

En cuanto a la distribución espacial de los metales (Figura. 6), se pudo observar que, los puntos que presentan mayores concentraciones de metales analizados en el presente proyecto son M4, M5, M6 y M9, lo cual se puede relacionar y comparar con el tamaño del grano de la arena presente en cada uno de los sectores en donde se tomaron las muestras, además, estas presentaron un mayor porcentaje de limo y arcilla. Asimismo, dicho fenómeno encontrado, se puede relacionar con lo propuesto por (Castro - Rodríguez, León - Luna, & Pinedo - Hernández, 2018; Yang et al., 2017), el cual consideran que, este tipo de grano tiene la capacidad adsorción y de esa manera puede preservar la materia orgánica, la cual actúa como esponja para otros contaminantes.

Las concentraciones de las muestras que se tomaron en la parte noroccidental de la ciénaga fueron: (M1, M2, M3 y M4), éstas, están ubicadas cerca a la desembocadura del arroyo León, el cual recorre todo el noroccidente de la ciudad de Barranquilla, recogiendo todas las descargas directas de aguas domésticas e industriales, así como el vertimiento que realiza la Estación Depuradora de Aguas Residuales (Cataño, 2006). Posteriormente, frente el inlet que separa el mar Caribe de la ciénaga, se tomaron las muestras M4 y M5 (Fig. 9), en la cual se observó, una elevada concentración de metales (mercurio y cromo), esto puede estar relacionado con el proceso de cuña salina, que facilita a precipitación del sedimento (DINÁMICA DE LA CUÑA SALINA, n.d.).

Otra posible fuente de contaminación es el río Magdalena, ya que la laguna cuenta con tres compuertas que se comunica directamente con el mismo. Las concentraciones de las muestras que están al noreste (M6 y M7) (ver figura 7), se tomaron en las compuertas 2 y 3; La muestra M6 presentó altas concentraciones de los metales analizados por la presente propuesta en comparación con la muestra M7; esto puede ser consecuencia de la ubicación de una empresa de dragado llamada MAPESA que se encuentra a unos metros río arriba de la compuerta 3.

Seguidamente en las muestras (M8 y M9) que se tomaron al sureste de la ciénaga, cerca del asentamiento urbano y el antiguo basurero del barrio las Flores (ver figura 7), reflejan niveles intermedios de contaminación de metales estudiados, ya que, tanto el barrio, como el antiguo basurero, realizaban constantes descargas de agua residuales y lixiviados. Estos dos factores se relacionan con la alta concentración de metales encontrados en los sedimentos de estas muestras; a diferencia de la muestra (M10 y M11) tomada al suroccidente de la ciénaga (ver figura 7), que estaban cerca de los manglares, y alejadas de las fuentes de contaminación mencionadas anteriormente, las cuales presentaron un porcentaje bajo de limo y arcilla, y por ende, de los metales analizados en la investigación.

En los resultados obtenidos de granulometría, se pudo evidenciar, que el 73% del sedimento de las muestras de la laguna, está conformado por limo y arcilla (Fig 4), este estudio contradice estudios anteriores como el de Franco, Alejandro y León-Luna, p75 (2010). El cual plantea que el sedimento de la ciénaga está conformado por arena.

Por otro lado, la fauna y la flora son los principales receptores de la biodisponibilidad de los metales pesados, los cuales son biomagnificados a través de la cadena alimenticia, produciéndose un aumento de las concentraciones internas en los organismos situados en los niveles más altos de la cadena trófica (Unidas, 2011). Por ejemplo, las investigaciones

realizadas por Fuente (2018), alertó la presencia de metales pesados en los peces en la laguna Mallorquín y su riesgo asociado para la salud humana a través del consumo de 36 especies ícticas.

Una vez revisado otros estudios de metales pesados en la ciénaga Grande de Santa Marta y ciénaga Él Torno (Perdomo et al., 1999), se pudo observar que la ciénaga de Mallorquín presenta valores más elevados en cuanto a concentraciones por metales, y que los valores de cromo y níquel tiene aumentada su concentración con un aproximado del 40% con respecto a las otras ciénagas. En cambio, los valores de cadmio y mercurio, son más similares entre las mismas.

Conclusiones

Este estudio reflejó una relación clara entre la fracción fina de sedimentos, el contenido de materia orgánica y la concentración de metales pesados presentes en ellos. Por lo tanto, indica que el tamaño de grano es uno de los factores dominantes en el control de la distribución de metales en los sedimentos de la laguna Mallorquin.

La distribución de metales también está correlacionada con las actividades antrópicas en la región. Como resultado de estas fuentes, las concentraciones máximas están presentes en las regiones Norte / Noroeste y Sudeste de la laguna. Los resultados de esta investigación, cuando se compararon con los valores permitidos para TEL y PEL, presentaron valores superiores al permitido para Ni, Cr, Hg en el mayor porcentaje de muestras.

Los niveles de metales encontrados son alarmantes, considerando que esta fuente representa una fuente de alimento para la población de sus alrededores. Esta situación es potencialmente más peligrosa cuando ocurre en lagunas y estuarios que son altamente productivos y sensibles en comparación con otros hábitats naturales. La urbanización acelerada sin planificación ha traído varios problemas ambientales a Barranquilla-Colombia.

La actividad antrópica en la ribera de la laguna y la fuente de contaminación indirecta que proviene del río Magdalena y arroyo León, serían los principiantes causantes de contaminación por metales pesados, en los sedimentos de la ciénaga.

Las concentraciones más elevadas de los elementos estudiados encontraron en las siguientes muestras:

- La concentración más alta de Níquel ($47.605 \text{ Ni ug-g}^{-1}$), se evidencio en la muestra M6, ubicada en la compuerta número 3 en la parte noreste de la ciénaga.
- La concentración de Cromo más alta fue de ($104.918 \text{ Cr ug-g}^{-1}$), y se evidencio en la muestra M9, ubicada en la parte sureste, cerca del antigua basurero y el actual barrio las Flores.
- La concentración más alta de Cadmio fue de ($1.85 \text{ Cd ug-g}^{-1}$), y se dio en la muestra M6, ubicada en la compuerta número 3 en la parte noreste de la ciénaga.
- La concentración más alta de Mercurio fue de (0.199), y se evidencio en la muestra M4 ubicada en el sector del inlet de la ciénaga.

También, se observó que el sector de la flecha o espiga al suroeste de la ciénaga es la menos contaminada. Además, se pudo observar un modelo de distribución de los contaminantes estudiados en el polígono de la laguna, el cual puede ser utilizado para futuros proyecto de biorremediación o futuras investigaciones.

En ese sentido, se pudo observar que los elementos (Cr; Ni; Hg), mostraron los niveles más altos de contaminación, comparados por límites de referencia TEL y con otras lagunas de la región caribe. Entonces, se puede decir que, la ciénaga de Mallorquín supera sus valores hasta por más del 40% entre las ciénagas de la región.

Recomendaciones

- Realizar un monitoreo continuo de metales pesados, teniendo en cuenta los sectores donde se encontraron los niveles más alto de contaminación.
- Realizar tratamientos de las aguas provenientes del arroyo León y del río Magdalena que desembocan en la ciénaga de Mallorquín.
- Delimitar una ronda hídrica a la laguna, el cual le permita tener a la población ribereña a una distancia para mitigar los impactos generados por sus actividades.
- Se recomienda un cese a las actividades recreativas como pesca y baño en la ciénaga hasta que las concentraciones sean permisibles según la legislación internacional.

Referencias

- Al-Mur, B. A., Quicksall, A. N., & Al-Ansari, A. M. A. (2017). Spatial and temporal distribution of heavy metals in coastal core sediments from the Red Sea, Saudi Arabia. *Oceanologia*, 59(3), 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2017.03.003>
- Alonso, D., Pineda, P., Olivero, J., González, H., & Campos, N. (2000). Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Environmental Pollution*, 109(1), 157–163. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00225-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00225-0)
- Arana-Zegarra, M. (2009). Choropampa case: Mercury spill and damage to health in rural exposed population. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 26(1), 113–118. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2009.261.1342>
- Bricker, S. B., Longstaff, B., Dennison, W., Jones, A., Boicourt, K., Wicks, C., & Woerner, J. (2008). Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: A decade of change. *Harmful Algae*, 8(1), 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.08.028>
- Buchman. (2008). *Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs)*. Retrieved from http://archive.orr.noaa.gov/book_shelf/122_NEW-SQuiRTs.pdf
- Canedo-López, Y., Ruiz-Marín, A., & Chi-Ayil, J. (2014). Diagnóstico De La Contaminación Por Metales Pesados En Sedimento Superficial De La Laguna De Términos, Campeche: Una Aproximación Estadística. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 7(2), 95–104.
- Castro - Rodríguez, E., León - Luna, I., & Pinedo - Hernández, J. (2018). Biogeochemistry of mangrove sediments in the Swamp of Mallorquin, Colombia. *Regional Studies in*

Marine Science, 17, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.11.005>

Cataño, C. (2006). *PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENTA*

HIDROGRÁFICA DE CIÉNAGA DE MALLORQUÍN. Retrieved from

<http://www.crautonomia.gov.co/cramap/mallorquin.php> Cómo funciona IDW—Ayuda

| ArcGIS for Desktop. (2016). Retrieved November 18, 2019, from 21 de abril

website: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2018). *PLAN DE MANEJO*

AMBIENTAL DEL COMPLEJO DE HUMEDALES DEL ALTO RÍO CAUCA

ASOCIADO A LA LAGUNA DE SONSO-DESIGNADO COMO SITIO RAMSAR

(VALLE DEL CAUCA). Retrieved from <http://www.cvc.gov.co>

Crautoma. (2006). *Vii. diagnostico analítico de la cuenca de mallorquín 1*. Retrieved from

<http://www.crautonomia.gov.co/documentos/mallorquin/Diagnostico/DiagnosticoAnalitico.pdf>

Cuizano, N., & Navarro, A. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Anales de La Real Sociedad Española de Química*, 104(2), 120–125.

Davies, O.A.; Allison M.E. & Uyi, H.S. (2006) - Bioaccumulation of heavy metals in water, sediment and periwinkle (*Tympanotonus fuscatus* var *radula*) from the Elechi Creek, Niger Delta. *African Journal of Biotechnology*, 5(10):968-973.

DINÁMICA DE LA CUÑA SALINA. (n.d.). Retrieved from

https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1425/4.DINAMICA_CUNA.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Doria Argumedo, C., & Deluque Vilorio, H. (2015). Niveles y distribución de metales

pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 123.

<https://doi.org/10.22490/21456453.1268>

Escobar, O. (2010). Bioacumulación y biomagnificación de mercurio y selenio en peces pelágicos mayores de la costa occidental de baja california sur. *Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario De Ciencias Marinas*, 144. Retrieved from <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/16358/1/escobars2.pdf>

Franco, Alejandro y León-Luna, I. (2010). *Geoquímica y concentraciones de metales pesados en un organismo de interés comercial (Corbula*. 83(28), 69–83.

Fuentes-Gandara, F., Herrera-Herrera, C., Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., & Díez, S. (2018). Assessment of human health risk associated with methylmercury in the imported fish marketed in the Caribbean. *Environmental Research*, 165, 324–329. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.05.001>

Fuentes-Gandara, F., Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., & Díez, S. (2016). Human health impacts of exposure to metals through extreme consumption of fish from the Colombian Caribbean Sea. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(1), 229–242. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9896-z>

Fuentes Gandara, F., Piñedo Hernandez, J., & Marruego Negrete, J. (2018). Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín , Colombia. *Espacios*, 39(January). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/322714397_Metales_pesados_en_especies_icticas_de_la_cienaga_de_Mallorquin_Colombia_Heavy_metals_in_fish_species_from_the_Mallorquin_swamp_Colombia?enrichId=rgreq-d1ec666191fd0a35b4c16ecdabb33307a-XXX&enrichSource=Y2

Fyhr, J. (2007). *Study of mangrove forests in Department Atlántico, Colombia*.

Arbetsgruppenför Tropisk Ekologi Minor Field Study 132 Committee of Tropical Ecology Uppsala University, Sweden.

Galvis, O., S. Téllez y A. Lora. 1992. Contribución al conocimiento de las características medio- ambientales de la ciénaga de Mallorquín. VIII Semin. Nac. Cien. Tecnol. Mar. CCO, Bogotá, Vol. 1: 483-489.

Hurtado, I., & Toro., J. (1998). Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambio. Valencia, Venezuela: Episteme Consultores Asociados. Obtenido de <https://epinvestsite.files.wordpress.com/2017/09/paradigmas-libro.pdf>

Idárraga-García, J.; Masson, D.G.; García, J.; León, H.; Vargas C.A. 2019. Architecture and development of the Magdalena Submarine Fan (southwestern Caribbean). *Marine Geology* Volume 414 August 2019 Pages 18-33

INVERMAR. (2019a). *Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos*. (L. F. Espinosa & O. Garcés, Eds.). Santa Marta: REDCAM: INVERMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2018. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVERMAR.

Jara-Peña, E. (2017). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa*, 24(2), 583–598.

<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24210>

Kwon, I., Sik, M., Jun, J., & Hwa, J. (2017). Provenance of late Quaternary sediments on the southwestern slope of the Ulleung Basin , East / Japan Sea. *Quaternary International*,

459, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.04.013>

Lacerda, L. D., & Lima, L. G. (2008). Distribuição espacial e acumulação de metais em sedimentos da lagoa do Banana, Caucaia, Ceará. *Geochimica Brasiliensis*, 22(1), 34–44.

Lago Vila, M. (2018). Biodisponibilidad de metales pesados en suelos contaminados - Dialnet. Retrieved May 8, 2020, from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=221733>

Lenntech. (2012). Estroncio (Sr) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. Retrieved May 19, 2020, from Lenntech website: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>

Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)

López, A., & Sierra, P. C. (2005). *Actualización y ajuste del diagnóstico y zonificación de la zona costera del Departamento del Atlántico, Caribe Colombiano* (p. 191). p. 191. Santa Marta: INVEMAR-CRA.

Mangones, A., & León, I. (2014). Elementos nutritivos la clorofila a y su relación con las variables físico químicas en la Ciénaga de Mallorquín, Colombia. *Bol. Inst. Oceanogr*, 2(53), 127–141.

Ministerio de transición Ecológica. (2017). Metales pesados- Lenntech. Retrieved May 8, 2020, from https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.aspx

MSDS. (n.d.). *HOJA DE SEGURIDAD XXI MERCURIO Y SALES DE MERCURIO*.

Retrieved from <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/21HG.pdf>

Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A. C., Colijn, F., ... Zaldívar, J. M.

(2014). An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140(June), 95–122.

<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.05.023>

Níquel - EcuRed. (n.d.). Retrieved May 20, 2020, from <https://www.ecured.cu/Níquel>

NOAA. (n.d.). Humedales costeros: demasiado valiosos para perder | NOAA Fisheries.

Retrieved May 5, 2020, from <https://www.fisheries.noaa.gov/national/habitat-conservation/coastal-wetlands-too-valuable-lose#challenges-for-coastal-wetlands>

Oiea, E. (2013). *Creación de asociaciones para proteger los océanos*. 12–14. OMS. (2016).

OMS | Cadmio. *WHO*.

Perdomo, L., Ensminger, I., Espinosa, L. F., Elster, C., Wallner-Kersanach, M., & Schnetter,

M.L. (1999). The mangrove ecosystem of the Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia): Observations on regeneration and trace metals in sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 37(8–12), 393–403. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00075-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00075-2)

Pino, J. (2005). Ciénaga De Mayorquin...!!!, Situación Actual y Derroteros. *Crautonomia*.

Retrieved from

<http://www.crautonomia.gov.co/documentos/mallorquin/MallorquinDerroteros.pdf>

Pino, J. (2006). *Síntesis de la situación actual de aa Ciénega de Mallorca con énfasis en la contaminación*. (Cuadro 1), 6.

Pojana, G., Gomiero, A., Jonkers, N., & Marcomini, A. (2007). Natural and synthetic endocrine disrupting compounds (EDCs) in water, sediment and biota of a coastal

lagoon. *Environment International*, 33(7), 929–936.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.05.003>

RAMSAR. (2015). *Briefing Note 7: State of the World's Wetlands and their Services to People*. 20. Retrieved from

<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/>

RAMSAR, 2017. Ramsar, secretaria de la Convención Ramsar Informe Misión Ramsar de Asesoramiento No. 82 Sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del Rio Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta. Disponible en:

https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ram82_cienaga_grande_s.pdf

RAMSAR. (2020). *The List of Wetlands of International Importance*. Retrieved from

http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/strategic_framework_rsis_fr.pdf

RAMSAR. (2006). Manual de la Convención. *Secretaría de La Convención de Ramsar*,

Gland (Suiza), 4a. ed., 124. Resumen de Salud Pública: Níquel (Nickel) | PHS |

ATSDR. (n.d.). Retrieved May 20, 2020, from

https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.html

Restrepo, J.C.; Schrottke, K.; Traini, C.; Ortíz, J.C.; Orejarena, A.; Otero, L.; Higgins, A., and Marriaga, L., (2015). Sediment Transport Regime and Geomorphological Change in a High Discharge Tropical Delta (Magdalena River, Colombia) (1990-2010). *Journal of Coastal Research*, 32(3), 575–589.

Rieuwerts, J. S., Thornton, I., Farago, M. E., & Ashmore, M. R. (1998). Factors influencing metal bioavailability in soils: Preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 10(2),

61–75. <https://doi.org/10.3184/095422998782775835>

Ruiz-guerra, C., Johnston-gonzález, R., Castillo-cortés, L. F., Cifuentes-sarmiento, Y., & Eusse, D. (2008). *Atlas De Aves Playeras Y Otras Aves Acuáticas En La Costa Caribe Colombiana*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Ruiz-Guerra/publication/260247253_Atlas_de_aves_playeras_y_otras_aves_acuaticas_en_la_costa_Caribe_Colombiana/links/0deec5304dc7f03581000000.pdf

Sánchez, F., & Sharon, C. (2016). *CAPÍTULO II METALES TÓXICOS EN COLOMBIA: PRESENCIA, ORIGEN, DISTRIBUCIÓN Y CONTAMINACIÓN EN COMPONENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS* Fernanda Sánchez 1 Sharon Corredor 2. Retrieved from [https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2939/CAPÍTULO II Metales Pesados.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2939/CAPÍTULO%20II%20Metales%20Pesados.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Santoyo, G. (2008). EFECTO DEL POTENCIAL OSMÓTICO Y DEL TAMAÑO DE LA SEMILLA SOBRE LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE MAÍZ (ZEA MAYS L.) BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 11(1), 26–34. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2008.1.8>

ten Brink P, Russi D, Farmer A, Badura T, Coates D, Förster J, K. R. y D. N. (2013). *LA ECONOMÍA DE LOS ECOSISTEMAS Y LA BIODIVERSIDAD RELATIVA AL AGUA Y LOS HUMEDALES. Resumen ejecutivo*. Retrieved from https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/teeb_waterwetlands_execsum_2013-sp.pdf

UNESCO. (1971). Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. *Texto de La Convención*. Retrieved

from <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convencion-de-ramsar-y-su-mision>

Unidas, N. (2011). *CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO DE PRODUCTOS QUÍMICOS (SGA)*.

Universidad del Norte. (2005). *Análisis Sobre El Manejo Integrado Del Recurso Hídrico En La Ciénaga De Mallorquín*. 340. Retrieved from

<http://cinto.invemar.org.co/share/proxy/alfresco/api/node/content/workspace/SpacesStore/9c955b0c-9b18-43bf-b288-0354386b36cc/DiagnosticoCM.pdf>

Uribe, C. (2006). *Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica de la Ciénaga de Mallorquín. Programa Cooperativo Interinstitucional Para el Ordenamiento, Manejo y Administración de la Cuenca Hidrográfica de la Ciénaga de Mallorquín Barranquilla*. (p. 732). p. 732. CRA, CORMAGDALENA, DAMAB, CONSERVACIÓN INTERNACIONAL.

Villate, D.A.D., Sánchez, H.M., Portz, L., Manzolli, R.M., Bolívar-Anillo H. J, Anfuso, G. 2020. Mangrove Forests Evolution and Threats in the Caribbean Sea of Colombia. *Water* 2020, 12, 1113; doi:10.3390/w12041113

Vallejo Toro, P. P., Vásquez Bedoya, L. F., Correa, I. D., Bernal Franco, G. R., Alcántara-Carrió, J., & Palacio Baena, J. A. (2016a). Impact of terrestrial mining and intensive agriculture in pollution of estuarine surface sediments: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá, Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 111(1–2), 311–320. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.093>

Vallejo Toro, P. P., Vásquez Bedoya, L. F., Correa, I. D., Bernal Franco, G. R., Alcántara-Carrió, J., & Palacio Baena, J. A. (2016b). Impact of terrestrial mining and intensive agriculture in pollution of estuarine surface sediments: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá, Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 111(1–2), 311–

320. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.093>

Yang, X., Wu, P., Yin, A., Zhang, H., Zhang, M., & Gao, C. (2017). Distribution and source analysis of heavy metals in soils and sediments of Yueqing Bay basin, East China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1–2), 489–497.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.046>

Anexos



Anexos 1. Recolección de muestras de sedimento.



Anexos 2. Actividad de Georreferenciación



Anexos 3. Punto de SPT 2



Anexos 4. Zona Manglar de la Barra arenosa



Anexos 5. Punto SPT 3



Anexos 6. Embalaje de muestras



Anexos 7. Asentamientos urbanos en la rivera de la ciénaga



Anexos 8 Talas de mangles.



Anexos 9. Desembocadura del Arroyo León

Journal of Coastal Research	SI	95	158–162	Coconut Creek, Florida	2020
-----------------------------	----	----	---------	------------------------	------

Assessment of Heavy Metals Pollution (Hg, Cr, Cd, Ni) in the Sediments of Mallorquin Lagoon - Barranquilla, Colombia.

Luana Portz[†], Rogério Portantolo Manzolli^{*,†}, Carlos Francisco F. de Andrade[‡], Diego Andre Villate Daza[§], Dairo Aldonso Bolívar Bandería[†] and Javier Alcantara-Carrió[†]

[†]Department of Civil and Environmental, Universidad de la Costa, Barranquilla, Atlántico, Colombia.

[‡]Instituto de Oceanografia, Laboratório de Hidroquímica, Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, RS, Brazil.

[§]Escuela Naval de Suboficiales A.R.C. Barranquilla, Atlántico, Colombia.

[§]Dpto. de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.



www.cerf-jcr.org



www.JCRonline.org

ABSTRACT

Portz, L.; Manzolli, R.P.; Andrade, C.F.F.; Villate-Daza, D.A.; Bolívar D.A.B., and Alcantara-Carrió, J., 2020. Assessment of heavy metals pollution (Hg, Cr, Cd, Ni) in the sediments of Mallorquin lagoon - Barranquilla, Colombia. Evaluation of the contamination by heavy metals (Hg, Cr, Cd, Ni) in the sediments of Mallorquin lagoon - Barranquilla, Caribbean Colombia. In: Malvarez, G. and Navas, F. (eds.), *Global Coastal Issues of 2020. Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 95, pp. 158–162. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

The levels of four toxic heavy metals (Hg; Cr; Cd; Ni) present in 17 sediment samples of the Mallorquin lagoon -Barranquilla (N Colombia) were investigated in order to assessing the potential risks of accumulation. The sample preparation was performed by acid microwave digestion with "Multiwave" system, carried out using GFAAS. High contamination levels, especially for Hg, Cr and Cd, were detected in samples M4 (0.199; 96.71; 1.212 $\mu\text{g.g}^{-1}$), M5 (0.153; 100.38; 1.076 $\mu\text{g.g}^{-1}$), M6 (0.140; 97.74; 1.850 $\mu\text{g.g}^{-1}$), M8 (0.122; 90.41; 1.023 $\mu\text{g.g}^{-1}$) y M9 (0.143; 100.92; 1.086 $\mu\text{g.g}^{-1}$). The results reflect the anthropogenic activities, as accelerated urbanization without planning, deposit for solid waste, contribution from the Magdalena River, affected by illegal mining. In addition, the Leon stream drains the entire metropolitan area by pouring into the lagoon a great amount of untreated sewage every day. The concentrations found in most samples of the Hg, Cr and Cd elements are above the internationally recommended limits. The levels of metals found are alarming, considering that this lagoon represents a source of food for the population of its surroundings.

ADDITIONAL INDEX WORDS: *Ecosystem, mercury, coastal lagoon, Igeo - Index of geo-accumulation.*

INTRODUCTION

Environmental monitoring of coastal areas under strong anthropic pressure is necessary for the conservation and management of proper ecosystems (e.g. Mani-Peres *et al.*, 2016; Portz *et al.*, 2015). Coastal lagoons are particularly exposed to the consequences of human activities either indirectly (industrial and agriculture activities in drainage basins) or directly (urbanization, fishing, aquaculture, navigational and port activities) (Bricker *et al.*, 2008; Rojano *et al.*, 2007; Stanley and Warne, 1993; nutrient loads). In addition to these activities, climate changes modify several processes, resulting in changes in circulation and sedimentation patterns (Costa *et al.*, 2018; Miguel *et al.*, 2019).

Coastal lagoons are natural environments that act as substance retainers, including metals. The sediments of these lentic environments are natural accumulators due to their geochemical characteristics and high sedimentation rates that quickly incorporate metals into the sedimentary record (Lima *et al.* and Lima, 2008). These considerations are potentially more aggravating

when considering the important role played by lagoons and estuaries for the surrounding populations, being highly productive and sensitive compared to other natural habitats (Levin *et al.*, 2001; Pérez-Buzafá *et al.*, 2011).

The Mallorquin lagoon, located in the department of Atlántico, Caribbean Colombia, is a tropical coastal lagoon with estuarine features. It has a coastal barrier, surrounded by dune areas with presence of various types of mangroves (Fyhr, 2007; Mangones and León, 2014). It also plays an important environmental and social role for the Colombian Caribbean region. The objective of this study is to evaluate heavy metal levels (Hg; Cr; Cd; Ni) present in 16 samples of surface sediments from Mallorquin lagoon, in order to assessing the potential risks of accumulation.

Regional Settings

Mallorquin is a shallow estuarine coastal lagoon. It is located at the northern end of the department of Atlántico, to the left of the western cutwater of Bocas de Ceniza mouth of the Magdalena River (Fig. 1). On the southeast side it borders with the population of Las Flores; on the southwest side with the population of La Playa and on the northwest side with the sandbar that separates it from the Caribbean Sea (Fig. 1). The lagoon has an extension of

DOI: 10.2112/JCOASTRES-19-031 received 31 March 2019; accepted in revision 13 February 2020.

*Corresponding author: lportz1@cuc.edu.co; rportant1@cuc.edu.co

©Coastal Education and Research Foundation, Inc. 2020

857 hectares and a depth that ranges between 1.2 and 1.5 meters (Uribe, 2006).

Until the first decades of the last century, the lagoon was an estuarine-deltaic type body of water. With the construction of the jetties that make up the structure of Bocas de Ceniza, it started a series of morphological modifications that considerably reduced its size. This has led to productivity losses, a decrease in internal hydrodynamics and a subsequent increase in the filling of the lagoon with terrestrial materials from the leachate of the surrounding basin (Uribe, 2006).

The lagoon has a variable volume, which depends on the rainy/dry seasons, and annual average temperatures of 28°C. In the hydrodynamics of the lagoon are involved: lagoon-sea communication inlet; evaporation, and precipitation; the natural runoff of the basin, a sequence of pipes in the western jetties and the wastewater treatment plant discharges (Uribe, 2006).

The Mallorquin lagoon is subject to massive anthropic pressure. The sources of liquid and solid discharges in the lagoon are originated in the populations and companies located around the lagoon (Universidad del Norte, 2005). It receives a variety of pollutants transported by the Magdalena River, the León stream (which receives sewage and rainwater from the city of Barranquilla) and from an old sanitary dump in Barranquilla located on its shore (Franco and León-Luna, 2010; INVERMAR, 2019; Mangones and León, 2014).

METHODS

They were collected 11 sediment samples from the lagoon bottom surface of the lagoon (first 10 cm deep) in July 2018 using a Van Veen sampler (Fig. 1). The samples were homogenized and stored at -4°C. In a second trip, 2 drillholes of 10 m depth were collected in the sandbar that separates the lagoon from the ocean; samples were taken every 50 cm but only 3 samples from SPT3 and 2 from SPT2 were analyzed due to the granulometric characteristics.



Figure 1. Study area. M1, M2, M3 – northwest, near the León river mouth, the main contribution of contaminated waters; M4 – connection between Caribbean sea and lagoon; M6, M7 – connection between Magdalena River; M8 – southeast, near Las Flores neighborhood, presence of irregular constructions; M9 – near old Barranquilla waste dump; M5, 10, 11 – far from potentially polluting sources; SPT1, SPT2 – sandbar that separates the lagoon from the Caribbean Sea.

The sample preparation for analysis of heavy metals content was performed by acid microwave digestion process (MARSXpress, CEM, USA). The process consists in adding 0.2 g dried material to a Teflon flask with 5 ml HNO₃, 2 ml HF and 2 ml H₂O₂, and letting the compound react overnight at room temperature. The compound is then put in microwave heating ramp for 15 min at 180 °C, 45-min hold time at 180 °C and 20-min cooling time. After digestion, waiting for the flask to reach room temperature and adding 10 mL of H₂BO₃ 4% to react overnight. Afterwards, taking the samples to microwave for new digestion step. The analyses were carried out using graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS). Recoveries were quantitative for all the elements studied (greater than or equal to 95%).

To measure the total mercury (Hg) concentration in sediments a Mercury Analyzer LUMEX® was used. Briefly, 5 ml of mineralized sample was added in one cell of the equipment then 1ml of SnCl₂. The product of the reaction of Hg²⁺ and SnCl₂ gaseous mercury (Hg⁰), was measured.

All heavy metal analyzes were performed at the Laboratório de Hidroquímica, Instituto de Oceanografia of the Universidade Federal do Rio Grande, Brazil.

Grain size analysis was performed using a LASER Horiba particle analyzer system (model LA-950V2) on aliquots of 5 to 10 g of each sample, in the Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - Institute of Geosciences of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil. Organic matter content was determined after wet incineration and expressed as organic substance per % of dry matter.

Data obtained was processed using the Past 3.25 software (<http://folk.uio.no/ohammer/past>) in order to obtain mean values, standard errors and confidence levels. ANOVA one-way, followed by a Tukey test were used to check for a significant relationships between organic matter concentration, granulometry and heavy metal concentration of the 11 samples from the lagoon bottom surface. The different statistical methods were performed with a 95% confidence interval (significance, p<0.05).

The Enrichment Factor (EF) of metals is a useful indicator to reflect the status of environmental contamination degree. Calculated as $EF_x = (x/Al)_{\text{sediment}} / (x/Al)_{\text{shale}}$, where, x/Al sediment is the ratio of the heavy metals (x) to Al in the sediment sample. The five-category pollution index (Sutherland, 2000) was used for the pollution assessment: EF <2, minimal pollution; 2 < EF <5, moderate pollution; 5 < EF <20, significant pollution; 20 < EF <40, high pollution, and EF >40, extreme pollution.

The geo-accumulation index (Müller, 1979) was used to assess the degree of anthropic influence on heavy metals concentrations in the sediments. The I_{geo} consists of 7 classes: I-geo <0 unpolluted; 0 < I-geo <1 unpolluted to moderately polluted; 1 < I-geo <2 moderately polluted; 2 < I-geo <3 moderately to strongly polluted; 3 < I-geo <4 strongly polluted; 4 < I-geo <5 strong to very strongly polluted; and I-geo >5 very strongly polluted. Geochemical background values used are described in Vallejo Toro *et al.* (2016). Additionally, samples were analyzed using background values for Ciénaga Grande de Santa Marta (Alonso *et al.*, 2000; Perdomo *et al.*, 1999) an industrialized bay and an unpolluted estuary in the Caribbean coast of Colombia. Sampling was conducted four times during March-November 1996, including both the dry and rainy seasons. Significant differences in Hg concentration were detected both for fish and sediments between the two waterbodies. Hg values ranged from 94 to 10,293 µg/kg dry weight (dw). This

lagoon presents similar characteristics to those of Mallorquín lagoon, with mineralogical origin of sediments for both lagoons from the same drainage basin. Besides, Alonso *et al.* (2000) consider Hg levels in sediments found in Ciénaga Grande de Santa Marta to be near background levels and similar to those found in remote areas.

RESULTS

The grain size of sediments mainly corresponds to sandy mud (Fig. 2, Table 1). The percentage of silt-clay ranged from 3.43% to 100%. Samples 7, 10 and 11 showed the highest sand concentrations.

In Mallorquín lagoon, the organic matter content of the sediments ranged from 1.6% to 15.3%, with an average of 6.70%. For the cores from the sandbar, the organic matter content ranged between 1.7% and 3.6%. Therefore, grain size variability plus different

concentrations of organic matter are the most remarkable features of the Mallorquín lagoon sediments, being the concentration of organic matter proportional to the percentage of fine sediments.

High contamination levels, especially for Hg, Cr and Cd, were detected in samples M4, M5, M8 and M9. Unlike those high concentrations, the lowest concentrations were found in samples M7, M10 and M11. The metal concentration values for the cores were intermediate when compared to the bottom of the lagoon and had no considerable variation with depth (Table 1).

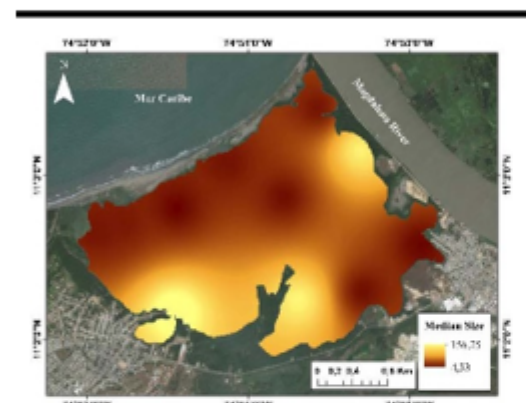
The values for the Ni element in the samples remained above the threshold effects (TEL) reference value described in Buchman (2008), except for sample M11. For the probable effects values (PEL), samples M4, M5, M6, M8 and M9 remained above. The values for Cr also remained higher than the TEL reference value, except for sample M11. Hg concentrations remained above the TEL value in samples M2, M4, M5, M6 and M9 from the lagoon bottom and for SPT2 and SPT3 at 2.0-2.5 m depth. No samples had concentrations above the PEL reference values (Table 1).

The concentration of heavy metals in the sedimentary cores did not show great variability with depth. The highest concentrations present in both cores in the depth of 2.0 to 2.5 m for Cr and Hg elements are stand out.

In general, the concentration of metals showed a pattern of increasing concentrations towards the north and northwest edges of the lagoon. It also showed high concentrations in the southeast sector near Las Flores neighborhood. However, concentrations decrease towards the south sector (Fig. 3). This spatial distribution may be related to sediment transport and sand distribution at the bottom of the lagoon.

Enrichment factors calculated, using Al as the normalizing element, show that sediment samples are moderately to significantly enriched with Ni, Cr, Cd and Hg, except for samples M7, M10 and M11. These values are the result of using background values for Ciénaga Grande de Santa Marta. Nevertheless, when the background value for the earth's crust is used, these values indicate deficiency to minimal enrichment, with the exception of Cd, which presents moderate enrichment (Table 3).

On the other hand, Igeo values using the background values for Ciénaga Grande de Santa Marta indicate that the sediments are uncontaminated to moderately contaminated with Ni, Cr, Cd and



Hg, except for samples M7, M10 and M11. Only sample M6 is moderately contaminated with Cd. When using the background values for earth's crust, these values indicate uncontaminated to moderately contaminated with Cd and Hg. Also, the sampling points indicate uncontaminated for Ni and Cr (Table 3).

DISCUSSION

The waters of the Colombian Caribbean coast have been exposed to an increase in heavy metal pollution during the last two decades. The most affected areas are close to the main human settlements, such as the cities of Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Coveñas, Tolu and Riohacha (Burgos-Núñez *et al.*, 2017; Fuentes-Gandara *et al.*, 2016; Garay, 2004; Perdomo *et al.*, 1999) Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn (Table 3).

Studies on marine pollution by heavy metals on the coastal littoral of the department of Atlántico are very scarce, with a few undergraduate papers that have not yet been published (e.g. Franco and León-Luna, 2010). And even though some technical reports have found high levels of metals in sediments and organisms in the Mallorquin lagoon, they still present few collection points, or do not represent the actual distribution situation.

The highest concentrations found in this study are present in the North/Northwest and Southeast regions. In the North/Northwest region (M1, M2, M3 and M4) these concentrations may be linked to contributions from the León stream. It brings fresh water into the lagoon charged with a high sedimentary load from industrial activities carried out in the city of Barranquilla (Franco *et al.*, 2010). Although metal reference values for this stream indicate concentrations below those found for the Mallorquin lagoon, they are still considerable (Ni 42.6 $\mu\text{g g}^{-1}$; Cr 28.9 $\mu\text{g g}^{-1}$; Cd 12.5 $\mu\text{g g}^{-1}$; Hg 0.0569 $\mu\text{g g}^{-1}$) (INVEMAR, 2019).

Table 3. Geochemical Indices. Enrichment Factor (EF) and geo-accumulation index (I_{geo}). M6 is the value for background B1 - Vallejo Toro *et al.* (2016). B2 - Perdomo *et al.* (1999) and Alonso *et al.* (2000).

	Ni				Cr				Cd				Hg			
	M6	EF	I_{geo}	M6	EF	I_{geo}	M6	EF	I_{geo}	M6	EF	I_{geo}	M6	EF	I_{geo}	M6
M1	75	0.54	-1.47	100	0.35	-0.81	0.30	3.58	1.37	0.06	1.46	-0.03				
M2	75	0.46	-1.70	100	0.78	-0.95	0.30	2.46	0.72	0.06	2.41	0.08				
M3	75	0.53	-1.50	100	0.87	-0.79	0.30	2.37	0.66	0.06	1.55	0.05				
M4	75	0.61	-1.31	100	0.97	-0.63	0.30	4.04	1.43	0.06	2.49	0.73				
M5	75	0.59	-1.34	100	1.00	-0.58	0.30	3.39	1.26	0.06	1.91	0.35				
B1 M6	75	0.63	-1.24	100	0.98	-0.62	0.30	6.17	2.04	0.06	1.73	0.22				
M7	75	0.24	-2.67	100	0.56	-1.42	0.30	0.83	-0.86	0.06	0.39	-1.93				
M8	75	0.59	-1.35	100	0.90	-0.73	0.30	3.41	1.18	0.06	1.52	0.02				
M9	75	0.63	-1.25	100	1.05	-0.52	0.30	3.62	1.27	0.06	1.78	0.25				
M10	75	0.23	-2.74	100	0.60	-1.33	0.30	0.44	-1.78	0.06	0.80	-0.90				
M11	75	0.15	-3.34	100	0.97	-1.88	0.30	1.29	-0.22	0.06	0.75	-1.03				
M12	10	4.05	1.43	5.48	15.66	3.38	0.41	15.66	0.92	0.02	3.86	1.97				
M13	10	3.45	1.20	5.48	14.18	3.24	0.41	14.18	0.26	0.02	9.64	2.68				
M14	10	3.97	1.40	5.48	15.88	3.40	0.41	15.88	0.21	0.02	6.20	2.05				
M15	10	4.55	1.60	5.48	17.65	3.56	0.41	17.65	0.98	0.02	9.97	2.73				
M16	10	4.45	1.57	5.48	18.32	3.61	0.41	18.32	0.81	0.02	7.63	2.35				
B2 M16	10	4.76	1.67	5.48	17.84	3.57	0.41	17.84	1.59	0.02	6.99	2.22				
M17	10	1.77	0.24	5.48	10.20	2.77	0.41	10.20	-1.31	0.02	1.55	0.05				
M18	10	4.42	1.56	5.48	16.30	3.46	0.41	16.30	0.73	0.02	6.09	2.02				
M19	10	4.73	1.66	5.48	19.15	3.67	0.41	19.15	0.82	0.02	7.13	2.25				
M20	10	1.69	0.17	5.48	10.86	2.86	0.41	10.86	-2.23	0.02	3.22	1.10				
M21	10	1.31	-0.43	5.48	7.42	2.31	0.41	7.42	-0.67	0.02	2.99	0.99				

In the southeast sector (M8 and M9) is located the neighborhood of "Las Flores", which does not have a sewerage system and/or domestic wastewater management (Franco and León-Luna, 2010). These two sampling points may be influenced by the leachate in adjacent areas to the coastal lagoon, originating from the old Barranquilla waste dump. A technical study carried out in 1995 (CRA, 1995) found maximum values around the former Las Flores dump, at the mouth of the León stream and the Magdalena River.

The samples present in the South sector (M11 and M10), besides being distant from potentially polluting sources, presented low percentage of fine sediments. These two factors may explain the low values of heavy metal concentration.

In samples whose granulometric composition present higher fines content (silt and clay), due to their higher adsorption capacity, there is a significant probability of finding contaminants (Yang *et al.*, 2017). In this study, this pattern was also observed in higher metal concentrations found in sample points with higher silt-clay concentrations. This indicates that grain size is one of the dominant factors in controlling the distribution of metals in Mallorquin lagoon sediments.

Another possible source of metals comes from the Magdalena River, which has 3 floodgates. The reference values for the Magdalena River (final stretch) are considered very similar to the Mallorquin lagoon (Ni 23.7 $\mu\text{g g}^{-1}$; Cr 74.4 $\mu\text{g g}^{-1}$; Hg 0.119 $\mu\text{g g}^{-1}$) (INVEMAR, 2019).

One of the characteristics of heavy metals is the lack of biodegradability. When inserted into the aquatic environment, they are redistributed throughout the water column, deposited or accumulated in sediment and then consumed by the biota. A research on the presence of heavy metals in fish in Mallorquin lagoon and its associated risk to human health through consumption, carried out by Fuentes-Gandara *et al.* (2016), indicated high metal concentrations, and established the need for further attention, as this is a large source of fishery resources and a habitat for a total of 36 species.

When comparing the metal concentrations in Mallorquin lagoon with other aquatic environments in the Colombian Caribbean region, Ni and Cr elements stand out with above average values, while Cd and Hg elements concentration levels are similar. Concentration levels generally raise concern about the control of potentially contaminating activities in Colombia. The problem regarding the Mallorquin lagoon fuels the concern about the environmental difficulties in Colombia, a country that should not be left behind in the face of world events and advances, such as the generation and ratification of regulations aimed to combat different kinds of pollution and the depredation of natural resources (Durán *et al.*, 2018).

However, considering the high background values for the region, the indices used to assess the risk remained between uncontaminated and moderately contaminated.

CONCLUSION

This study reflected a clear relationship between the fine fraction of sediments, the content of organic matter and the concentration of heavy metals present in them. Thus, it indicates that grain size is one of the dominant factors in controlling the distribution of metals in Mallorquin lagoon sediments.

The distribution of metals is also correlated with anthropic activities in the region. As a result of these sources, the maximum

concentrations are present in the North/Northwest and Southeast regions of the lagoon. The results of this investigation, when compared with the permissible values for TEL and PEL, presented values above the allowed for Ni, Cr, Hg in the largest percentage of samples.

The levels of metals found are alarming, considering that this source represents a source of food for the population of its surroundings. This situation is potentially more dangerous when it occurs in lagoons and estuaries which are both highly productive and sensitive in comparison to other natural habitats. Accelerated urbanization without planning has brought several environmental problems to Barranquilla-Colombia.

LITERATURE CITED

- Alonso, D.; Pineda, P.; Oliviero, J.; González, H., and Campos, N., 2000. Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Environmental Pollution*, 109, 157-163.
- Bricker, S.B.; Longstaff, B.; Dennison, W.; Jones, A.; Boicourt, K.; Wicks, C., and Woerner, J., 2008. Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: A decade of change. *Harmful Algae*, 8, 21-32.
- Buchanan, M.F., 2008. Screening Quick Reference Tables (SQRs).
- Burgos-Núñez, S.; Navarro-Frómata, A.; Marrugo-Negrete, J.; Enamorado-Montes, G., and Uranga-Cárdenas, I., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the Ciénaga Bay, Colombia: A marine tropical ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*, 120, 379-386.
- Costa, S.; Picado, A.; Vaz, N.; Coelho, C.; Portela, L., and Dias, J.M., 2018. Climate Change Effects on Suspended Sediment Dynamics in a Coastal Lagoon: Ria de Aveiro (Portugal). *Journal of Coastal Research*, 85, 521-525.
- CRA, 1995. *Estudio ambiental de la ciénaga de Mallorquín*. Anaya y Asociados Ltda. Corporación Autónoma Regional del Atlántico, Barranquilla, 237p.
- Durán, J.C.B.; Ortega, A.M.G.; Reales, R.J.V.; González, S.I., and Calderón, R.T., 2018. Contaminación en la Ciénaga de Mallorquín: una perspectiva sociojurídica. In: *Educación Socioambiental. Acción Presente*. Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, pp. 210-230.
- Franco, A. and León-Luna, I., 2010. Geoquímica y concentraciones de metales pesados en un organismo de interés comercial (*Corbularia* sp., D'Orbigny, 1842) en la zona submareal superficial de la Ciénaga de Mallorquín-Atlántico. *Boletín Científico CIOH*, 28, 69-83.
- Fuentes-Gandara, F.; Pinedo-Hernández, J.; Marrugo-Negrete, J., and Díez, S., 2016. Human health impacts of exposure to metals through extreme consumption of fish from the Colombian Caribbean Sea. *Environmental Geochemistry and Health*, 40, 229-242.
- Fyfe, J., 2007. Study of mangrove forests in Department Atlántico, Colombia. ISSN 1653-5634. 60p.
- Garay, J. et al., 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar- PNICM.
- INVERMAR, 2019. *Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombiano*. REDCAM. Informe técnico. Serie de Publicaciones Periódicas 4, Santa Marta.
- Lacerda, L.D. and Lima, L.G., 2008. Distribuição espacial e acumulação de metais em sedimentos da lagoa do Banana, Caucaia, Ceará. *Geochimica Brasiliensis*, 22, 34-44.
- Levin, L.A. et al., 2001. The Function of Marine Critical Transition Zones and the Importance of Sediment Biodiversity. *Estuaries*, 4, 430-451.
- Mangones, A. and León, I., 2014. Elementos nutritivos la clorofila a y su relación con las variables físico químicas en la Ciénaga de Mallorquín, Colombia. *Boletín Inst. Oceanogr*, 2, 127-141.
- Mani-Pérez, C.; Xavier, L.Y.; Santos, C.R., and Turra, A., 2016. Stakeholders perceptions of local environmental changes as a tool for impact assessment in coastal zones. *Ocean and Coastal Management*, 119, 135-145.
- Miguel, L.L.A.J.; Nehama, F.P.J., and Castro, J.W.A., 2019. Lagoon-barrier system response to recent climate conditions and sea level rise, Mozambique, Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 216, 71-86.
- Müller, G., 1979. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins. Veränderungen seit 1971. *Umschau*, 79, S. 778-783.
- Perdomo, L.; Ensminger, I.; Espinosa, L.F.; Elster, C.; Walther-Kernach, M., and Schmetter, M.J., 1999. The mangrove ecosystem of the Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia): Observations on regeneration and trace metals in sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 37, 393-403.
- Pérez-Ruzafa, A.; Marcos, C., and Pérez-Ruzafa, I.M., 2011. Recent advances in coastal lagoons ecology: Evolving old ideas and assumptions. *Transitional Waters Bulletin*, 5, 50-74.
- Pojana, G.; Gomiero, A.; Jonkers, N., and Marcomini, A., 2007. Natural and synthetic endocrine disrupting compounds (EDCs) in water, sediment and biota of a coastal lagoon. *Environment International*, 33, 929-936.
- Portz, L.; Manzolli, R.P.; Hermann, L., and Alcántara Carrió, J., 2015. Evaluation of the efficiency of dune reconstruction techniques in Xangri-lá (Rio Grande do Sul, Brazil). *Ocean and Coastal Management*, 104, 78-89.
- Stanley, D.J. and Varne, A.G., 1993. Nile delta: Recent geological evolution and human impact. *Science*, 260, 628-634.
- Sutherland, R., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39(6), 611-627.
- Universidad del Norte, 2005. Análisis Sobre El Manejo Integrado Del Recurso Hídrico En La Ciénaga De Mallorquín. 340p.
- Uribe, C., 2006. Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica de la Ciénaga de Mallorquín. Programa Cooperativo Interinstitucional Para el Ordenamiento, Manejo y Administración de la Cuenca Hidrográfica de la Ciénaga de Mallorquín-Barranquilla. 732p.
- Vallejo-Toro, P.P.; Vásquez Bedoya, L.F.; Correa, I.D.; Bernal Franco, G.R.; Alcántara-Carrió, J., and Palacio Baena, J.A., 2016. Impact of terrestrial mining and intensive agriculture in pollution of estuarine surface sediments: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá, Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 111, 311-320.
- Yang, X.; Wu, P.; Yin, A.; Zhang, H.; Zhang, M., and Gao, C., 2017. Distribution and source analysis of heavy metals in soils and sediments of Yueqing Bay basin, East China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 115, 489-497.